СПРАВОЧНИК
ПО
РЕЛЕЙНОЙ
ЗАЩИТЕ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

М. А. БЕРКОВИЧ, В. Н. ВАВИН, М. Л. ГОЛУБЕВ, Ю. Г. НАЗАРОВ,
Н. Е. РИБЕЛЬ, А. И. САВОСТЬЯНОВ, В. А. СЕМЕНОВ

СПРАВОЧНИК
ПО РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Под общей редакцией М. А. БЕРКОВИЧА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

ЭЭ-5-3
УДК 621.316.925(083)
Б 48

Справочник в объеме, необходимом для решения основных инженерных вопросов по релейной защите, АПВ и АВР, содержит: методические указания по расчетам токов коротких замыканий, электрическим расчетам, расчетам уставок и характеристик релейной защиты, основные сведения по релейной аппаратуре и комплектным устройствам защиты и автоматики, по автоматам, приводам выключателей, электроизмерительным приборам и электротехническим материалам, типовые схемы релейной защиты, АПВ и АВР и рекомендации по их применению.

Справочник отражает современные решения в области релейной защиты, АПВ и АВР.

Справочник рассчитан в основном на инженеров, техников и мастеров, а также квалифицированных рабочих, работающих в области эксплуатации релейной защиты и автоматизации энергосистем и промышленных предприятий.

Справочник рассчитан также на работников проектных и наладочных организаций и студентов средних и высших учебных заведений.

Авторы: *Беркович Михаил Арнольдович, Вавин Виктор Николаевич, Голубев Михаил Львович, Назаров Юрий Григорьевич, Рибель Нормунд Евгеньевич, Савостьянов Алексей Иванович, Семенов Владимир Александрович.* **Справочник по релейной защите.** Под общей редакцией М. А. Берковича. М.—Л., Госэнергоиздат, 1963.
512 с. с черт.

Редакторы: *Л. И. Арцишевский* и *А. Д. Герр* Техн. редактор *Н. И. Борунов*

Сдано в набор 16/XI 1963 г. Подписано к печати 4/VII 1963 г.
Т-08816 Бумага 84×108¹/₁₆ 52,48 печ. л. Уч.-изд. л. 64,4
Тираж 40 000 экз. Цена 3 р. 47 к. Зак. 2672

Типография № 1 Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Новой Программой КПСС, программой построения коммунизма в нашей стране, принятой XXII съездом КПСС, предусматривается опережающее развитие энергетики, что должно обеспечить широкое внедрение электрической энергии во все отрасли народного хозяйства и быт советского общества.

К 1980 г. Программой намечено завершить в основном сплошную электрификацию страны.

Основными направлениями развития энергетики СССР как в настоящее время, так и на ближайшие годы являются:

повышение единичной мощности агрегатов на электростанциях до 300—500 *Мвт;*

сооружение крупных тепловых и гидроэлектростанций мощностью 2 400 *Мвт* и больше;

строительство магистральных линий электропередач переменного тока напряжением 330—500 *кв* и постоянного тока 800 *кв* и выше;

объединение энергосистем и создание единых энергосистем вначале в европейской части СССР и Сибири, а затем и единой энергосистемы страны.

В управлении сложными технологическими процессами мощных объединенных энергосистем и обеспечении их надежной работы одно из решающих мест принадлежит таким средствам, как релейная защита и электроавтоматика.

В настоящее время к работе в области конструирования, проектирования и особенно эксплуатации релейной защиты и электроавтоматики привлечено большое количество инженеров, техников, мастеров и квалифицированных рабочих. Их работа отличается многообразием охватываемых вопросов и требует поэтому обеспечения технической литературой, различной по содержанию и по уровню изложения.

За последние годы отечественная техническая литература обогатилась рядом хороших учебных пособий и монографий советских авторов по вопросам релейной защиты, электроавтоматики и других смежных областей прикладной электротехники.

Вместе с тем уже давно назрела необходимость создания справочника, который содержал бы основные сведения, необходимые работающим как в области проектирования, так и особенно в области эксплуатации релейной защиты.

Разделы справочника написаны: 1 и 2 — М. А. Берковичем и В. А. Семеновым, 3 — А. И. Савостьяновым, 4 — Н. Е. Рибелем, 5 — М. А. Берковичем, В. Н. Вавиным, Ю. Г. Назаровым и В. А. Семеновым, в разделе 6 «Трансформаторы тока» — В. Н. Вавиным и «Трансформаторы напряжения» — В. А. Семеновым, 7 — В. А. Семеновым, 8, 9, 10 — М. Л. Голубевым, 11 и 12 — Ю. Г. Назаровым.

Авторы выражают свою признательность рецензентам инженерам В. И. Дорофееву, М. И. Песочину и В. И. Першину и редакторам Л. И. Арцишевскому и А. Д. Герру, тщательно просмотревшим рукопись и давшим весьма ценные советы и замечания.

Все замечания и пожелания авторы просят направлять по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10, Госэнергоиздат.

Авторы

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Раздел первый

РАСЧЕТ ТОКОВ и НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ в ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

1-1. Общие сведения 7
1-2. Сопротивления элементов электрической системы 7
1-3. Расчетные условия 18
1-4. Эквивалентная расчетная схема 22
1-5. Вычисление токов короткого замыкания при симметричных коротких замыканиях 22
1-6. Несимметричные короткие замыкания 30
1-7. Учет переходного сопротивления в месте короткого замыкания 40
1-8. Учет качаний при расчете токов короткого замыкания 41
1-9. Вычисление токов при обрыве фаз в системе с заземленной нейтралью 42

Раздел второй

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

2-1. Статическая устойчивость энергосистем 44
2-2. Динамическая устойчивость энергосистем . . . 46
2-3. Расчет токов и напряжений при самозапуске электродвигателей 48
2-4. Определение тока ротора синхронного генератора при заданном напряжении и токе статора 50
2-5. Расчет тока и напряжения при включении генератора методом самосинхронизации 50
2-6. Расчет токов при несинхронном включении . . 51

Раздел третий

РЕЛЕ и ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

3-1. Реле токовые электромагнитные серии ЭТ/520 52
3-2. Реле токовое электромагнитное типа ЭТ-523/1Д 53
3-3. Реле токовое электромагнитное типа ЭТ-521/Ф 54
3-4. Реле токовое электромагнитное типа ЭТД-551 55
3-5. Реле напряжения электромагнитные серии ЭН-520 55
3-6. Реле напряжения электромагнитное постоянного тока типа ЭН-524М 56
3-7. Реле напряжения электромагнитное трехфазное типа ЭН-531 58
3-8. Реле напряжения электромагнитное типа ЭН-535 58
3-9. Реле максимального тока зависимое типов ИТ-80, РТ-80, РТ-90 59
3-10. Токовое балансное реле типа ИТБ-201А . . . 62
3-11. Реле мощности быстродействующие серий РБМ-170, РБМ-270 и РБМ-01 63
3-12. Реле мощности быстродействующие типов ИМБ-171 и ИМБ-178А 64
3-13. Реле дифференциальное типа ЭТ-561 с ВТН-561 65
3-14. Реле дифференциальные типов РНТ-562, РНТ-563, РНТ-564 70
3-15. Реле дифференциальное типа ДЗТ-1 73
3-16. Реле дифференциальные типов ДЗТ-3, ДЗТ-3/2, ДЗТ-4 75
3-17. Реле понижения частоты типа ИВЧ-011А . . . 80
3-18. Реле разности частот типа ИРЧ-01А 80
3-19. Реле времени серий ЭВ-110, ЭВ-120, ЭВ-130, ЭВ-140, ЭВ-210, ЭВ-220, ЭВ-230, ЭВ-240 . . . 81
3-20. Реле промежуточное типа ЭП-1 85
3-21. Реле промежуточные серий ЭП-100 и ЭПВ-100 85
3-22. Реле промежуточные типов ЭПВ-11, ЭПВ-11/3, ЭПВ-11/4, ЭПВ-12 и ЭПВ-32 85
3-23. Реле промежуточное переменного тока типа ЭП-41-Б 89
3-24. Реле промежуточные типов РП-23, РП-24, РП-25 и РП-26 89
3-25. Реле промежуточные типов РП-211, РП-212, РП-213, РП-214 и РП-215 91
3-26. Реле промежуточные типов ЭП-131, ЭП-132, РП-232 и РП-233 91
3-27. Реле промежуточные типов РП-251, РП-252, РП-253, РП-254, РП-255 и РП-256 91
3-28. Реле промежуточные типов РП-311, РП-321, РП-341 97
3-29. Реле промежуточные двухпозиционные типов РП-351 и РП-352 98
3-30. Реле указательные типов ЭС-21, (РУ-21) и ЭС-41 100
3-31. Фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2 101
3-32. Фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1 103
3-33. Реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1 105
3-34. Реле максимального тока с торможением типа МЗТ-1 105
3-35. Автотрансформатор тока типа ВУ-25Б 106
3-36. Трансформатор тока типа ТКБ-1 107
3-37. Реле сопротивления типов КРС-111 и КРС-112 108
3-38. Направленные реле сопротивления типов КРС-121, КРС-131 и КРС-132 110
3-39. Поляризованные реле серий РП и РПБ . . . 116
3-40. Поляризованные реле серии ДТ-110 121
3-41. Электромагнитные кодовые реле типа КДР . . 125
3-42. Электромагнитные промежуточные реле типа МКУ-48 и МКУ-48с 128
3-43. Устройства блокировки при неисправностях цепей напряжения типов КРБ-11 и КРБ-12 . . . 128
3-44. Устройства блокировки при качаниях типов КРБ-121 и КРБ-122 131

3-45. Дистанционные защиты типов ПЗ-157 и ПЗ-158 134
3-46. Приставка высокочастотной блокировки типа ПВБ-158 145
3-47. Дистанционные защиты типов ПЗ-152 и ПЗ-153 148
3-48. Панель релейной части фильтровой направленной защиты с высокочастотной блокировкой типа ПЗ-164А 156
3-49. Панель дифференциально-фазной высокочастотной защиты типа ДФЗ-2 163
3-50. Комплект защиты ротора генератора типа КЗР-1 168
3-51. Устройства повторного включения типов РПВ-58, РПВ-258 и РПВ-358 173
3-52. Зарядное устройство типа УЗ-400 175
3-53. Блок питания типа БП-10 178
3-54. Блоки питания типов БПТ-100 БПН-100 . . 180
3-55. Реле времени типов РВМ-12 и РВМ-13 183
3-56. Продольная дифференциальная защита линий типа ДЗЛ-1 186
3-57. Продольная дифференциальная защита линий типа РДЛ 191
3-58. Реле напряжения трехфазное типа РНБ-231 . . 196
3-59. Газовое реле типа ПГ-22 197
3-60. Комплектные устройства защиты типа КЗ . . 198

Раздел четвертый

СХЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ и ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ПОСТОЯННОМ и ПЕРЕМЕННОМ ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ

4-1. Защита шин 202
4-2. Защита генераторов мощностью до 2 000 *квт* 222
4-3. Защита синхронных генераторов мощностью от 2 000 *квт*, работающих на сборные шины . . 231
4-4. Защита синхронных компенсаторов 237
4-5. Защита трансформаторов и автотрансформаторов 239
4-6. Защита вольтодобавочных устройств 245
4-7. Защита блоков генератор — трансформатор и генератор—автотрансформатор (рис. 4-34) . . . 249
4-8. Защита асинхронных и синхронных электродвигателей напряжением 2 *кв* и выше 251
4-9. Защита линий 3—6—10 *кв* 263
4 10. Защита линий 35 *кв* 264
4-11. Защита линий 110—154—220 *кв* 269
4-12. Устройства резервирования отказа выключателей 288
4-13. Комплектные устройства защиты на оперативном переменном токе 293

Раздел пятый

РАСЧЕТ УСТАВОК и ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

5-1. Максимальная токовая защита с блокировкой минимального напряжения 295
5-2. Максимальная токовая защита от междуфазных коротких замыканий 295
5-3. Максимальная токовая защита от перегрузки 298
5-4. Токовая отсечка от междуфазных коротких замыканий 298
5-5. Токовая защита обратной последовательности генераторов и блоков генератор—трансформатор 299
5-6. Поперечная дифференциальная направленная защита линий 301
5-7. Продольная дифференциальная защита линий 303
5-8. Дифференциальная защита трансформаторов (автотрансформаторов) 305
5-9. Высокочастотные защиты 308
5-10. Дистанционная защита 311
5-11. Защита нулевой последовательности от замыканий на землю в сетях с большим током замыкания на землю 315
5-12. Защита шин 320
5-13. Трехфазные АПВ (ТАПВ) 322

Раздел шестой

ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА и ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

6-1. Основные сведения о трансформаторах тока 326
6-2. Расчетная проверка пригодности трансформаторов тока для релейной защиты 328
6-3. Расчет токов небаланса в различных схемах соединения трансформаторов тока 333
6-4. Технические характеристики наиболее распространенных типов трансформаторов тока 334
6-5. Основные сведения о трансформаторах напряжения 358
6-6. Цепи трансформаторов напряжения 359
6-7. Расчетная проверка режимов работы трансформаторов напряжения 363
6-8. Выбор тока срабатывания максимальных автоматов и номинального тока плавких вставок . . 368

Раздел седьмой

ЗАЩИТА СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 000 *в*

7-1. Общие указания 368
7-2. Расчет токов короткого замыкания 369
7-3. Защита плавкими предохранителями 372
7-4. Защита автоматическими воздушными выключателями (автоматами) 387

Раздел восьмой

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

8-1. Кабели контрольные 408
8-2. Провода обмоточные 410
8-3. Провода и шнуры монтажные и установочные 416
8-4. Электротехнические стали 418
8-5. Проводниковые материалы 421
8-6. Припои и флюсы для пайки 422
8-7. Изоляционные материалы 423

Раздел девятый

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ и МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ, ВСТРОЕННЫЕ РЕЛЕ и ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

9-1. Масляные выключатели 434
9-2. Воздушные выключатели 440
9-3. Автогазовые выключатели и выключатели нагрузки 440
9-4. Короткозамыкатели и отделители 441
9-5. Электромагнитные приводы 441
9-6. Механические приводы 444
9-7. Встроенные реле прямого действия и отключающие электромагниты для механических приводов 448

Раздел десятый

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

10-1. Обозначения единиц измерений, систем, типов и условий работы электроизмерительных приборов 445
10-2. Погрешности электроизмерительных приборов 445
10-3. Классы точности приборов 464
10-4. Измерение несинусоидальных электрических величин 464
10-5. Погрешности измерений 466

Раздел одиннадцатый

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ

11-1. Основные сведения 476
11-2. ТАПВ однократного действия одиночных линий с односторонним питанием 477
11-3. ТАПВ двукратного действия линий с односторонним питанием 481
11-4. ТАПВ линий с двусторонним питанием 482
11-5. ОАПВ линий с односторонним питанием . . . 488
11-6. ОАПВ линий с двусторонним питанием 489
11-7. АПВ шин, трансформаторов и двигателей . . . 493
11-8. Совместное действие релейной защиты и устройств АПВ 496

Раздел двенадцатый

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ и ОБОРУДОВАНИЯ (АВР)

12-1. Основные сведения 498
12-2. АВР трансформаторов 500
12-3. АВР линий 503
12-4. Унифицированная схема АВР для телемеханизированных подстанций 504
12-5. Комбинированная схема АВР—АПВ с комплектным реле РАВ-1 505
12-6. АВР в кабельных сетях 6 и 10 *кв* 509
12-7. АВР двигателей 509
12-8. АВР линий низкого напряжения 510

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

РАСЧЕТ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

1-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В трехфазной электрической системе могут возникать: *трехфазные, двухфазные, двухфазные на землю и однофазные* короткие замыкания.

Однофазные и двухфазные на землю короткие замыкания могут иметь место только в электрических системах с глухозаземленными нейтралями генераторов или трансформаторов.

Трехфазные короткие замыкания называются *симметричными,* остальные виды коротких замыканий — *несимметричными.*

От момента возникновения короткого замыкания, называемого *начальным моментом,* и до *установившегося режима* происходит переходный процесс, во время которого токи и напряжения изменяют свою величину. В соответствии с этим различаются следующие значения тока короткого замыкания:

1. *Полный ток короткого замыкания* — представляет собой сумму периодической и апериодической составляющих. Максимальное мгновенное значение полного тока короткого замыкания называется *ударным током короткого замыкания* и вычисляется при проверке оборудования и токопроводов на динамическую устойчивость.

2. *Начальный ток короткого замыкания*—представляет собой периодическую составляющую тока короткого замыкания в начальный момент времени. Начальный ток короткого замыкания вычисляется при выборе уставок быстродействующей защиты (отсечек и др.).

Начальный ток короткого замыкания называют также *сверхпереходным* током короткого замыкания при учете свободных затухающих токов в успокоительной обмотке и обмотке ротора или *переходным* током короткого замыкания при учете свободных затухающих токов только в обмотке ротора (при отсутствии успокоительных обмоток).

3. *Установившийся ток короткого замыкания* — представляет собой периодическую составляющую после окончания переходного процесса, в том числе и процессов, связанных с работой автоматических регуляторов возбуждения.

1-2. СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

а) Генераторы

r—омическое сопротивление фазы обмотки статора; задается в омах при температуре +75° С или в процентах:

$$r\% = \frac{rI_{ном}\sqrt{3}}{U_{ном}} \cdot 100. \qquad (1\text{-}1)$$

Омическое сопротивление генератора, как правило, при расчетах не учитывается из-за относительно малой величины.

При определении начального тока короткого замыкания используются:

x''_{*d} — *сверхпереходное реактивное сопротивление прямой последовательности по продольной оси полюсов;*

x''_{*q} — *то же по поперечной оси полюсов.*

При определении начального тока короткого замыкания при отсутствии у генераторов успокоительных обмоток используются:

x'_{*d} — *переходное реактивное сопротивление прямой последовательности по продольной оси полюсов;*

x_{*d} — *синхронное реактивное сопротивление прямой последовательности по продольной оси полюсов* (используется при определении установившегося тока короткого замыкания);

x_{*q} — *то же по поперечной оси полюсов.*

x_{*2} — *реактивное сопротивление обратной последовательности* (используется при расчетах несимметричных коротких замыканий).

Реактивное сопротивление обратной последовательности в общем случае не равно сопротивлению прямой последовательности и может быть определено из следующих соотношений.

Реактивное сопротивление обратной последовательности генераторов

Для турбогенераторов и гидрогенераторов с успокоительными обмотками $x_{*2} = \frac{x''_{*d} + x''_{*q}}{2}$ или практически $x_{*2} \approx 1{,}22x''_{*d}$.

Для гидрогенераторов без успокоительных обмоток $x_{*2} = \sqrt{x'_{*d} \cdot x'_{*q}}$ или практически $x_{*2} \approx 1{,}45x'_{*d}$.

При приближенных ориентировочных расчетах можно принимать следующие значения x_{*2}:

для турбогенераторов и гидрогенераторов с успокоительными обмотками $x_{*2} \approx x''_{*d}$;

для гидрогенераторов без успокоительных обмоток $x_{*2} \approx 0{,}4—0{,}6$.

Реактивное сопротивление обратной последовательности принимается неизменным в течение всего процесса короткого замыкания.

Таблица 1-1

Технические данные крупных турбогенераторов

Тип	$U_н$, кв	$\cos\varphi_н$	x_{*d}	x'_{*d}	x''_{*d}	x_{*2}	x_{*0}	T^*_{d0}, сек	$R_{стат}$, при 75° С, %	$R_{рот}$ при 75° С, ом	$I_{рот.н}$, а	$I_{рот.х.х}$, а	JD^2, т·м²
Т2-2,5-2	6,3	0,8	1,096	0,126	0,0913	0,111	0,067	4,4	0,341	0,256	246	133	
Т2-3,5-2	6,3	0,8	1,527	0,18	0,117	0,143	0,101	4,0	0,473	0,268	281	127	0,5
Т2-4-2	6,3	0,8	1,775	0,185	0,11	0,134	0,05	5,6	0,365	0,336	242	101	
Т2-6-2	6,3	0,8	1,645	0,17	0,12	0,147	0,067	7,1	0,291	0,409	248	107	1,3
Т2-12-2	6,3	0,8	1,865	0,175	0,115	0,14	0,055	8,0	0,225	0,694	250	102	2,4
Т2-12-2	10,5	0,8	2,076	0,2	0,131	0,16	0,073	7,9	0,238	0,694	247	93	2,4
Т2-25-2	6,3	0,8	1,953	0,203	0,127	0,156	0,08	10,2	0,193	0,409	411	163	4
Т2-25-2	10,5	0,8	2,126	0,216	0,131	0,16	0,055	10,0	0,189	0,409	408	152	4
ТВ2-30-2	10,5	0,8	2,547	0,257	0,152	0,185	0,066	10,0	0,226	0,409	468	152	5,3
ТВ2-30-2	10,5	0,8	2,343	0,24	0,148	0,179	0,095	10,0	0,232	0,409	470	163	5,3
ТВС-30	6,3	0,8	2,53	0,257	0,152	0,185	0,072	10,3	0,5	0,409	456	156	5,3
ТВС-30	10,5	0,8	2,53	0,257	0,152	0,185	0,072	10,3	0,3	0,409	456	146	5,3
Т2-50-2	10,5	0,85	1,733	0,19	0,128	0,156	0,052	11,6	0,147	0,282	596	258	13,5
ТВ-50-2	10,5	0,85	1,839	0,2	0,134	0,164	0,056	11,6	0,156	0,282	640	253	13,5
ТВ-60-2	10,5	0,8	2,20	0,24	0,132	0,191	0,067	11,7	0,156	0,28	717	255	13,5
ТВФ-60-2	10,5	0,8	2,18	0,271	0,176	0,215	0,077	6,5	0,44	0,123	1 500	617	8,85
ТВФ-60-2	6,3	0,8	1,96	0,33	0,2245	0,274	0,055	4,7	1,33	0,123	1 700	688	8,85
Т2-100-2	15,75	0,9	1,381	0,18	0,116	0,142	0,053	11,6	0,098	0,484	580	294	23
ТВ-100-2	15,75	0,85	1,458	0,178	0,121	0,147	0,057	11,6	0,104	0,479	626	295	23
ТВ2-100-2	13,8	0,85	1,803	0,203	0,138	0,168	0,082	13,0	0,111	0,415	648	268	21
ТВФ-100-2	10,5	0,85	1,795	0,283	0,183	0,223	0,095	6,2	0,117	0,605	1 650	640	13
ТВ2-150-2	18,0	0,9	1,487	0,18	0,122	0,149	0,066	11,9	0,09	0,54	668	321	33,5
ТВВ-150-2	18,0	0,85	1,71	0,31	0,21	0,255	0,105	5,1	0,135	0,118	2 200	810	17,8
ТВФ-200-2	11,0	0,85	1,95	0,25	0,165	0,20	0,10	7,12	0,085	0,124	2 240	860	26,4
ТГВ-200	15,75	0,85	1,85	0,27	0,19	0,232	0,083	6,5	0,108	0,194	1 750	700	26,5
ТВВ-200-2	15,75	0,85	1,90	0,28	0,192	0,234	0,103	6,0	0,121	0,0875	2 680	320	22,4
ТВВ-300-2	20,0	0,85	1,70	0,26	0,173	0,210	0,087	6,0	0,095	0,131	2 920	445	30
ТГВ-300	20,0	0,85	1,92	0,28	0,196	0,24	0,09	6,65	0,121	0,116	2 890	440	31,1

* T_{d0} — постоянная времени обмотки возбуждения при разомкнутой обмотке статора.

Таблица 1-2

Параметры крупных гидрогенераторов

Тип	$S_{ном}$, ква	n, об/мин	$U_{ном}$, кв	$\cos\varphi_н$	ОКЗ	x_{*d}	x'_{*d}	x''_{*d}	JD^2, т·м²
СВ 395/250-12	80 000	500	10,5	—	0,9	1,23	0,34	0,22	0,615
СВ 325/130-12	16 500	500	10,5	—	0,97	1,09	0,19	0,19	0,158
СВ 430/210-14	68 750	428,6	10,5	0,8	1,00	1,14	0,28	0,28	0,75
СВ 465/210-16	66 000	375	10,5	0,85	1,22	0,91	0,21	0,21	1,2
СВ 425/135-16	33 000	375	10,5	0,7	1,05	1,02	0,29	0,29	0,52
СВ 425/60-24	10 000	250	6,6	0,8	0,96	1,02	0,27	0,27	0,35
СВ 665/110-32	44 000	187,5	10,5	0,85	0,98	1,13	0,3	0,3	3
СВ 566/125-32	30 000	187,5	10,5	0,85	1,07	1,07	0,27	0,2	2,1
СВ 546/90-32	18 700	187,5	10,5	0,8	0,94	1,05	0,36	0,36	1,5
СВ 546/80-36	15 000	167	6,6	—	0,84	1,09	0,38	0,38	1,25
СВ 850/190-40	100 000	150	16,5	0,85	1,52	0,75	0,27	0,19	16
СВ 695/155-40	44 000	150	10,5	—	1,15	1,00	0,28	0,21	5
СВ 750/75-40	27 000	150	10,5	0,8	1,09	0,99	0,28	0,2	3,2
СВ 566/125-40	23 500	150	10,5	—	1,24	0,96	0,33	0,23	2,1
СВ 546/90-40	15 600	150	6,3	0,8	1,01	1,01	0,31	0,3	1,27
СВ 1130/250-48	235 000	125	15,75	0,85	1,16	0,92	0,35	0,21	50
СВ 850/190-48	85 500	125	13,8	0,85	1,3	0,87	0,32	0,23	12,8
СВ 840/130-52	50 000	115,4	10,5	0,8	1,29	0,89	0,3	0,2	8,6
СВ 850/120-60	40 000	100	10,5	0,8	1,42	0,82	0,31	0,23	8
СВ 800/105-60	30 000	100	10,5	0,8	1,16	0,95	0,3	0,3	7
СВ 800/76-60	18 000	100	10,5	0,8	1,15	0,99	0,27	0,27	5,3
СВ 1240/245-64	180 000	93,6	15,75	—	1,46	0,73	0,29	0,19	68,0
СВ 1030/120-68	52 000	88,2	10,5	0,8	1,55	0,74	0,28	0,2	15

Продолжение табл. 1-2

Тип	$S_{ном}$, *ква*	*n*, *об/мин*	$U_{ном}$, *кв*	cos $\varphi_н$	ОКЗ	x_{*d}	x'_{*d}	x''_{*d}	JD^2, *т·м²*
СВ 1160/180-72	103 500	83,3	13,8	0,8	1,37	0,89	0,35	0,26	39
СВ 895/170-80	30 000	75	10,5	0,8	1,6	0,72	0,25	0,25	1,33
СВ 1500/200-88	123 500	68,2	13,8	0,85	2,27	0,51	0,19	0,14	121
СВ 1100/145-88	50 000	68,2	15,75	0,8	1,78	0,64	0,31	0,23	28
СВ 1500/170-96	117 650	62,5	13,8	0,85	1,73	0,65	0,29	0,21	84
СВ 1340/150-96	71 500	62,5	13,8	0,8	1,78	0,63	0,28	0,21	47
СВ 1135/90-96	28 750	62,5	10,5	—	1,69	0,66	0,29	0,23	18,5
СВ 1250/115-108	33 400	55,5	10,5	—	2,28	0,5	0,23	0,18	25,5
СГСВ 900/240-28	353 000	214	15,75	0,85	—	1,37	0,34	0,195	23

Таблица 1-3

Технические данные синхронных компенсаторов

Тип	$U_н$, *кв*	$x_{*\sigma}$	x_{*d}	x_{*q}	x'_{*d}	x''_{*d}	x_{*2}	x_{*0}	$R_{ст}$, при 15° С, *ом*	$R_{рот}$ при 15° С, *ом*	$T*_{d0}$, *сек*	$I_{рот.ном}$, *а*	$I_{рот.х.х}$, *а*	JD^2, *т·м²*
КС-5000-6	6,3	0,10	1,57	0,77	0,25	0,16	0,21	0,06	0,042	0,09	4,4	485	182	3,7
КС-7500-6	6,6	0,09	1,68	0,82	0,25	0,15	0,16	0,06	0,029	0,175	4,7	401	145	8,6
КС-15000-6	6,6	0,097	1,58	0,94	0,28	0,15	0,15	0,08	0,012	0,123	7,5	560	206	—
КС-15000-11	10,5	0,121	1,94	1,17	0,34	0,18	0,19	0,08	0,028	0,123	7,3	565	186	24,8
КС-30000-11	10,5	0,163	1,77	1,07	0,48	0,27	0,27	0,10	0,013	0,239	8,8	580	185	105
КСВ-37500-11	10,5	0,15	2,30	1,30	0,36	0,23	0,23	0,08	0,0107	0,163	7,8	790	220	58,3
КСВ-75000-11	11	0,13	2,30	1,20	0,36	0,20	0,20	0,09	0,00435	0,097	9,7	1 300	360	230
КВС-50000-11	11	—	2,7	1,5	0,47	0,3	—	0,14	—	—	9,1	1 150	300	125

Таблица 1-4

Примерные параметры синхронных машин

Наименование	Реактивные сопротивления в относительных единицах						T_{d0}, *сек*	*M*, *сек*
	x_{*d}	x_{*q}	x'_{*d}	x''_{*d}	x_{*2}	x_{*0}		
Двухполюсные турбогенераторы	1,7 / 0,95—2,55	1,7 / 0,92—2,55	0,25 / 0,12—0,31	0,15 / 0,07—0,24	0,18 / 0,07—0,28	0,01—0,1	8 / 2,8—13	16
Четырехполюсные турбогенераторы	1,10 / 1,00—1,45	1,08 / 0,91—1,42	0,23 / 0,20—0,28	0,14 / 0,12—0,17	0,14 / 0,12—0,17	0,015—0,14	6,2 / 4,0—9,2	16
Генераторы и двигатели с выступающими полюсами, с успокоительной обмоткой	1,15 / 0,60—1,45	0,75 / 0,4—1,00	0,37 / 0,2—0,5	0,24 / 0,13—0,35	0,24 / 0,13—0,35	0,02—0,20	5,0 / 1,5—9,5	Генераторы 6; двигатели 4,5
То же, но без успокоительной обмотки	1,15 / 0,60—1,45	0,75 / 0,4—0,95	0,35 / 0,2—0,45	0,35 / 0,2—0,45	0,55 / 0,30—0,70	0,04—0,25	6,6 / 3,0—10,5	Генераторы 6; двигатели 4,5
Синхронные компенсаторы	1,80 / 1,50—2,70	1,15 / 0,75—1,50	0,40 / 0,25—0,50	0,25 / 0,18—0,38	0,24 / 0,17—0,37	0,02—0,15	9,0 / 4,0—11,5	3

Примечание. В числителе приведены средние, а в знаменателе предельные значения величин. *M* — постоянная инерции.

x_{*0} — *реактивное сопротивление нулевой последовательности;* используется при расчетах несимметричных коротких замыканий на землю в случае глухого заземления нейтрали генератора.

Реактивное сопротивление нулевой последовательности можно считать постоянным в течение всего процесса короткого замыкания.

Все реактивные сопротивления генератора задаются в относительных единицах или в процентах:

$$x\% = 100x_*. \qquad (1\text{-}2)$$

Реактивные сопротивления, выраженные в омах, определяются по заданным в относительных единицах или в процентах на основании следующих соотношений:

$$x = \frac{x\%}{100}\frac{U^2_{ном}}{S_{ном}}, \ ом; \qquad (1\text{-}3)$$

$$x = x_*\frac{U^2_{ном}}{S_{ном}}, \ ом; \qquad (1\text{-}3а)$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение, *кв*;

$S_{ном}$ — номинальная мощность, *Мва*.

Реактивные сопротивления и некоторые другие параметры крупных генераторов и синхронных компенсаторов приведены в табл. 1-1—1-4.

б) Трансформаторы и автотрансформаторы

$z_T(z_{AT})$ — *полное сопротивление обмотки трансформатора (автотрансформатора) прямой последовательности;* определяется согласно табл. 1-13 по напряжению короткого замыкания, которое задается в процентах — $u_к\%$ (табл. 1-7—1-10). Используется при расчетах токов короткого замыкания без учета активных сопротивлений.

$r_T(r_{AT})$ — *активное сопротивление обмотки трансформатора (автотрансформатора);* определяется (табл. 1-14) по активной составляющей напряжения короткого замыкания, выраженной в процентах, $u_{к.а}\%$, которая вычисляется по потерям короткого замыкания $P_к$, *квт*:

$$u_{к.а}\% = \frac{P_к}{S_{ном}}\cdot 100. \qquad (1\text{-}4)$$

$x_T(x_{AT})$ — *реактивное сопротивление обмотки трансформатора (автотрансформатора) прямой последовательности*; определяется как

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2}; \qquad (1\text{-}5)$$

используется при расчетах токов короткого замыкания с учетом r_T.

Сопротивления обмоток трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов) определяются аналогично с учетом следующих особенностей.

Напряжение короткого замыкания для трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов) задается в процентах или относительных единицах для каждой пары обмоток при разомкнутой третьей, т. е.

$$u_{*к\ I\text{-}II},\ u_{*к\ II\text{-}III},\ u_{*кI\text{-}III},$$

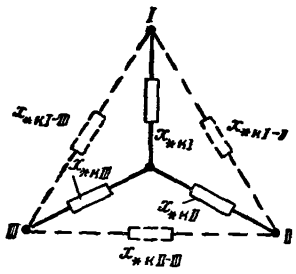


Рис. 1-1. Схема замещения трехобмоточного трансформатора.

где I — обмотка высшего напряжения (ВН); II — обмотка среднего напряжения (СН); III — обмотка низшего напряжения (НН).

Все напряжения короткого замыкания, как правило, отнесены к номинальной мощности наиболее мощной обмотки, которая принимается за номинальную мощность трансформатора (автотрансформатора).

В расчетной схеме трехобмоточный трансформатор (автотрансформатор) может быть представлен в виде трехлучевой звезды (рис. 1-1). Напряжение короткого замыкания каждого луча (каждой обмотки) определяется по выражениям:

$$\left.\begin{aligned} u_{*к\ I} &= 0{,}5\,(u_{*к\ I\text{-}II} + u_{*к\ I\text{-}III} - u_{*к\ II\text{-}III});\\ u_{*к\ II} &= 0{,}5\,(u_{*к\ I\text{-}II} + u_{*к\ II\text{-}III} - u_{*к\ I\text{-}III});\\ u_{*к\ III} &= 0{,}5\,(u_{*к\ I\text{-}III} + u_{*к\ II\text{-}III} - u_{*к\ I\text{-}II}). \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}6)$$

По известным $u_{*к}$ определяются сопротивления лучей расчетной схемы согласно табл. 1-13.

Трансформаторы с расщепленными обмотками могут рассматриваться как многообмоточные трансформаторы.

Принципиальная и расчетная схемы двухобмоточного трансформатора с одной из обмоток, расщепленной на две части, показаны на рис. 1-2.

Сопротивления между обмотками ab_1 и ab_2 $x_{ab1} = x_{ab2}$, называемые *сквозными сопротивлениями*, и между обмотками b_1b_2—x_{b1b2}, называемые *сопротивлениями расщепления*, определяются по соответствующим значениям напряжений короткого замыкания согласно табл. 1-13.

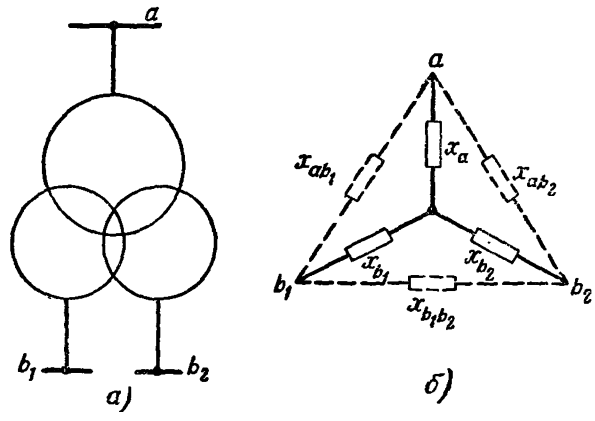
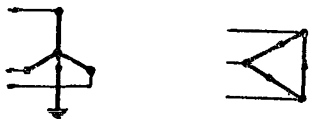
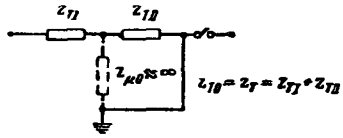
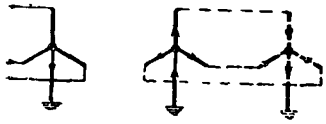
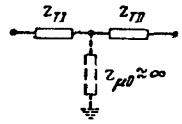
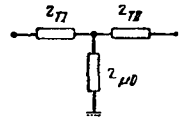
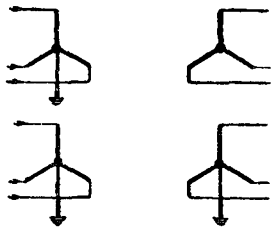
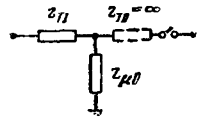


Рис. 1-2. Двухобмоточный трансформатор с одной обмоткой, расщепленной на две части.
а — принципиальная схема; *б* — расчетная схема.

Таблица 1-5

Схемы замещения нулевой последовательности двухобмоточных трансформаторов

Схема соединений обмоток трансформатора		Схема замещения и сопротивление нулевой последовательности трансформаторов	
Обмотка I	Обмотка II	Трехфазные группы из однофазных трансформаторов, трехфазные трансформаторы с четырехстержневым или броневым магнитопроводом	Трехфазные трансформаторы с трехстержневым магнитопроводом
			
В сети обмотки II имеется хотя бы одна заземленная нейтраль 		 $z_{T0} = z_T = z_{TI} + z_{TII}$	Схема замещения трансформатора включается полностью в общую схему замещения нулевой последовательности 
В сети обмотки II других заземленных нейтралей нет 		$z_{T0} \approx \infty$	 $z_{T0} = z_{TI} + z_{\mu 0}$
	Любая схема соединения	$z_{T0} = \infty$	$z_{T0} = \infty$
Для всех схем соединения обмоток любых трансформаторов		1. Сопротивления обмоток I и II принимаются равными: $z_{*TI} = z_{*TII} = 0{,}5u_{*к}$ 2. Сопротивление нулевой последовательности ветви намагничивания составляет: $z_{*\mu 0} = 0{,}3 - 1{,}0$	

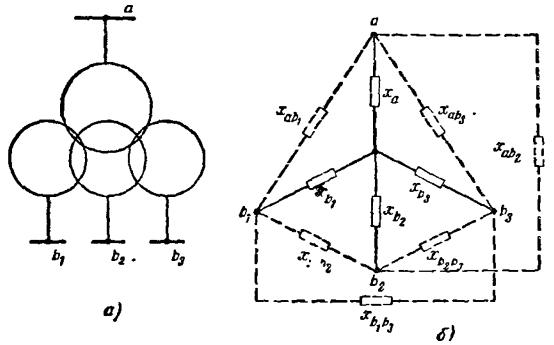


Рис. 1-3. Двухобмоточный трансформатор с одной обмоткой, расщепленной на три части.
а — принципиальная схема; *б* — расчетная схема.

Сопротивления лучей расчетной схемы определяются из выражений:

$$\left.\begin{aligned} x_a &= x_{ab} - \frac{x_{b_1b_2}}{4}; \\ x_{b1} &= x_{b2} = \frac{x_{b_1b_2}}{2}, \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}7)$$

где $x_{ab} = x_{ab1} = x_{ab2}$.

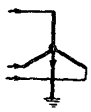
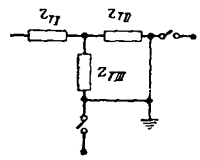
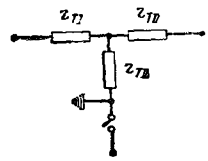
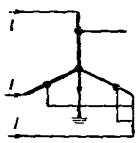
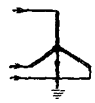
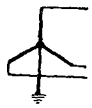
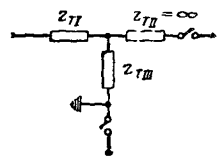
Для групп однофазных трансформаторов обычно $x_{b_1b_2} = 4x_{ab}$, при этом $x_a = 0$,

$$x_{b1} = x_{b2} = 2x_{ab}. \qquad (1\text{-}7а)$$

Принципиальная и расчетная схемы двухобмоточного трансформатора с одной из обмоток, расщепленной на три части, показаны на рис. 1-3, где $x_{ab1} = x_{ab2} =$

Таблица 1-6

Схемы замещения нулевой последовательности трехобмоточного трансформатора

Схемы соединений обмоток трансформаторов			Схема замещения и сопротивление нулевой последовательности трансформаторов (автотрансформаторов)
Обмотка I	Обмотка II	Обмотка III	
			 $z_{T0} = z_{TI} + \frac{z_{TII} z_{TIII}}{z_{TII} + z_{TIII}}$
			 Схема замещения трансформатора (автотрансформатора) включается полностью в общую схему замещения нулевой последовательности
 В обоих случаях в сети обмотки II имеется хотя бы одна заземленная нейтраль			
  В сети обмотки II других заземленных нейтралей нет	 	 	 $z_{T0} = z_{TI} + z_{TIII}$ или $z_{T0} = z_{TI-III}$

Примечание. Во всех случаях, когда хотя бы одна обмотка трехобмоточного трансформатора (автотрансформатора) соединена в треугольник, можно независимо от его конструкции принимать $z_{\mu 0} = \infty$.

Таблица 1-7

Параметры двухобмоточных трансформаторов с высшим напряжением 6, 10, 35, 110, 150, 220, 330, 400 и 500 кв

Тип	$u_к$, %	Потери		$I_{х.х}$, %	Тип	$u_к$, %	Потери		$I_{х.х}$, %
		$P_х$, квт	$P_к$, квт				$P_х$, квт	$P_к$, квт	
ТМ-10/6	5,5	0,105	0,335	10	ТСМ-180/6	4,5	0,800	3,20	6
ТМ-20/6	5,5	0,180	0,600	9	ТСМ-180/10	4,5	0,800	3,20	6
ТМ-20/10	5,5	0,220	0,600	10	ТСМ-320/6	4,5	1,35	4,85	5,5
ТМ-30/6	5,5	0,250	0,850	5,5	ТСМ-320/10	4,5	1,35	4,85	5,5
ТМ-30/10	5,5	0,300	0,850	5,5	ТСМ-560/6	4,5	2,0	7,20	5,0
ТМ-50/6	5,5	0,350	1,320	7	ТСМ-560/10	4,5	2,0	7,20	5,0
ТМ-50/10	5,5	0,440	1,320	8	ТЦ-10000/35	7,5	29	92	3
ТМ-100/6	6,0	0,600	2,400	6,5	ТД-10000/35	7,5	29	92	3
ТМ-100/10	6,0	0,730	2,400	7	ТДАН-10000/35	14,5	28	96	4
ТМ-100/35	6,5	0,90	2,400	8	ТД-10000/35*	10	36	115	3
ТМ-180/6	5,5	1,00	4,00	6	ТДН-10000/35	14,4	24	90	4
ТМ-180/10	5,5	1,20	4,10	7	ТД-15000/35	8,0	39	122	3
ТМ-180/35	6,5	1,50	4,10	8	ТЦ-15000/35	8,0	39	122	3
ТМ-320/6	5,5	1,60	6,07	6	ТДГ-15000/110	10,5	50	133	3,5
ТМ-320/10	5,5	1,90	6,20	7	ТДН-15000/35	8,2	40	120	4
ТМ-320/35	6,5	2,30	6,20	7,5	ТД-20000/35	8,25	46,3	154,5	2,5
ТМ-560/10	5,5	2,50	9,40	6	ТРД-20000/35	8,2	45,5	132,5	2,03
ТМ-560/10*	8,0	3,13	11,7	6	ТДГ-20000/110	10,5	60	163	3
ТМ-560/35	6,5	3,35	9,40	6,5	ТД-31500/35	8,0	73	180	3
ТМН-560/35	6,5	3,2	10,5	5,0	ТДГ-31500/35	10,5	73	215	3
ТМ-750/10	5,5	4,10	11,9	6	ТДНГ-10000/110	13,2	38	95	4,5
ТМН-750/10	5,5	4,4	12,4	6	ТДНГ-15000/110	7	50	115	4,5
ТМ-1000/10	5,5	4,90	15,0	5	ТДН-20000/35	8,3	50	130	3,5
ТМН-1000/10	5,5	4,9	16,1	5,1	ТДГ-31500/100	10,5	86	200	2,7
ТМ-1000/35	6,5	5,10	15,0	5,5	ТДНГ-20000/110*	13,1	55	185	1,78
ТМН-1000/35	6,5	6,0	14,0	5,5	ТДНГ-31500/110*	11	100	200	2,52
ТМ-1800/10	5,5	8,00	24,0	4,5	ТДНГ-31500/110*	10,5	95	195	3,0
ТМ-1800/35	6,5	8,30	24,00	5	ТДАН-31500/35	8	75	160	3,2
ТМН-1800/35	6,5	9	24,0	5	ТДГ-10000/150	14,6	41,2	95,6	5,0
ТМ-3200/10	5,5	11,0	37,0	4	ТЦГ-10000/150	14,4	41	92	3,9
ТМ-3200/10*	8,0	12,8	46,5	4	ТДГ-15000/150	11,5	61,5	125	3,6
ТМН-3200/10	7,5	11,9	38,0	4,8	ТДГ-31500/150	12,5	116	183	4,0
ТМ-3200/35	7,0	11,5	37,0	4,5	ТД-40500/35	8,5	94	222	2,3
ТМН-3200/35	7,0	13,2	34,0	4,5	ТДГ-40500/110	10,5	115	222	2,6
ТМ-5600/10	5,5	18,0	56,0	4	ТДНГУ-40500/110	10,9	100	205	3,4
ТМ-5600/10*	8,0	22,5	70,0	4	ТДГ-60000/110	11,5	150	305	2,7
ТМ-5600/35	7,5	18,5	57,0	4,5	ТДГ-70000/110	13	135	390	3,6
ТМ-7500/35*	10	30,0	94,0	3,5	ТДГ-60000/150	12	165	305	3,5
ТМН-5600/35	7,5	18,8	55,2	4,5	ТДГ-65000/150	13	180	315	3,5
ТМН-7500/35	7,5	24	75	3,5	ТЦГ-70000/150	14	178	360	3,5
ТМ-5600/110	10,5	25,5	62,5	4,5	ТМГ-5600/110	10,5	25,5	62,5	4,5
ТМ-7500/35	7,5	24,0	75,0	3,5	ТМГ-7500/110	10,5	33	77	4,0
ТМ-7500/110	10,5	33,0	77,0	4,0	ТДГ-45000/110	10,85	116	246	2,25
ТС-180/10	5,5	1,6	3,0	4,0	ТДГ-75000/110	10,5	165	400	4,0
ТС-320/10	5,5	2,6	4,9	3,5	ТДЦГ-90000/110	10,5	190	390	3,65
ТС-550/10	5,5	3,5	7,4	3,0	ТДЦГ-90000/220	12,2	240	400	3,8
ТС-560/10*	8,0	3,5	7,4	3,0	ТДЦГ-120000/110	10,5	177	483	2,3
ТС-750/10	5,5	4,0	8,08	2,5	ТДЦГ-120000/220	11,5	240	565	3,5
ТС-750/10*	8,0	4,0	8,8	2,5	ТДЦГ-180000/110	10,5	525	660	3,8
ТС-560/15	8,0	3,4	6,4	3,5	ТДЦГ-180000/220	12	320	760	3,2
ТС-750/15	8,0	5,15	8,0	3,0	ТДЦГ-380000/330	12,65	320	800	2,0
ТСМ-20/6	4,5	0,155	0,565	9,5	ТДЦГ-240000/110	10,5	540	700	3,5
ТСМ-20/10	4,5	0,155	0,515	9,5	ТДЦГ-240000/220	12,7	450	950	3,0
ТСМ-35/6	4,5	0,230	0,830	8,5	ТДЦГ-360000/220**	12,8	600	1 180	—
ТСМ-35/10	4,5	0,230	0,830	8,5	ОДГ-10500/110	10,5	29,5	81,5	3,3
ТСМ-60/6	4,5	0,350	1,30	7,5	ОДГ-13500/110	10,5	33,5	98,5	3,
ТСМ-60/10	4,5	0,350	1,30	7,5	ОДГ-20000/110	10,5	47	129	2
ТСМ-100/6	4,5	0,500	2,07	6,5	ОДГ-20000/220	12,5	71	128	3
ТСМ-100/10	4,5	0,500	2,07	6,5	ОДГ-20000/150	11,4	63,2	120	2

Продолжение табл. 1-7

Тип	$u_к$, %	Потери		$I_{х.х}$, %	Тип	$u_к$, %	Потери		$I_{х.х}$, %
		$P_х$, *квт*	$P_к$, *квт*				$P_х$, *квт*	$P_к$, *квт*	
)ДГ-25000/220	13	83	140	4,2	ОДГ-46000/220	11,5	145	219	3,1
ЭДГ-30000/110	10,5	66	172	2,5	ОДГ-46667/220	12,1	122	222	2,2
ОДГ-30000/150	10,5	92,5	150,5	2,9	ОДГ-50000/110	10,5	107	222	2
ОДГ-30000/220	13	84	183	4,2	ОДГ-50000/220	12,3	146	217	3
ОДГ-33333/220	11	105	141	2,7	ОДГ-60000/220	13	145	280	2,4
ОДГ-40000/110	10,5	84	216	2,5	ОЦГ-123500/400	13	454	404	3,16
ОДГ-40000/220	13	105	203	2,3	ОДЦГ-135000/500	13,4	500	600	4,0

Примечание. Буквы и цифры в обозначениях типа (в порядке написания): Т—трехфазный, О—однофазный, М—естественное масляное охлаждение, Д—масляное охлаждение с дутьем, Ц—принудительная циркуляция масла через водяной охладитель, С—сухой с естественным воздушным охлаждением, Т—трехобмоточный, Н— с регулированием напряжения под нагрузкой, Г—грозоупорный, Р—с двумя расщепленными обмотками на стороне низшего напряжения, У—усовершенствованный, П—передвижной.
Числитель дроби—номинальная мощность, знаменатель дроби—номинальное высшее напряжение, *кв*.

*—Для собственных нужд электростанций.
**—Предварительные данные.

Таблица 1-8

Параметры трехобмоточных трансформаторов

Тип	Напряжение короткого замыкания $u_к$, %			Тип	Напряжение короткого замыкания $u_к$, %		
	ВН—СН	ВН—НН	СН—НН		ВН—СН	ВН—НН	СН—НН
ОМТГ-5000/110	17	10,65	6,18	ТДТНГ-20000/220	12,3	18,8	6
ОМТГ-5000/110	10,5	17	6	ТДТГ-31500/110	17	10,5	6
ТМТГ-5600/110	17	11	6	ТДТГ-31500/110	10,5	17	6
ОМТГ-6667/110	16,24	10,9	6,1	ТДТНГ-31500/110	17,7	10,5	6,2
ТМТГ-7500-110	17	10,5	6	ТДТНГ-31500/110	10,5	17,1	6,2
ТМТГ-7500/110	10,5	17	6	ТДТГ-31500/150	17,9	12,2	5,1
ТМТГП-10 000/110	17	10,5	6	ОДТГ-30000/220	13,4	22	8
ТДТГ-10000/110	17	10,5	6	ОДТГ-33333/220	14	22	7,7
ТДТГ-10000/110	10,5	17	6	ОЦТГ-33333/220	20	13	7
ТДТНГ-10000/110	17	10,5	6,4	ТДТГ-40000/110	17	10,5	6
ТДТНГ-10000/110	10,5	17	6,4	ТДТГ-40000/110	10,5	17	6
ОДТГ-10500/110	17	10,5	6	ОДТГ-40000/220	22	14	8
ОДТГ-10500/110	10,5	17	6	ТДТГ-40500/110	17	10,5	6
ОДТГ-13500/110	17	10,5	6	ТДТГ-40500/110	10,5	17	6
ОДТГ-13500/110	10,5	17	6	ТДНТ-40500/110	18,4	10,9	7
ТДТГ-15000/110	17	10,5	6	ТДНТ-40500/110	10,6	18,2	7
ТДТГ-15000/110	10,5	17	6	ОДТГ-46667/220	21	13	8
ТДТНГ-15000/110	11	18	6,6	ТДТГ-60000/110	17	10,5	6
ТДТНГ-15000/110	18	11	6,6	ТДТГ-60000/110	10,5	17	6
ТДТГ-15000/150	12,35	17,59	5,22	ТДНТ-60000/110	17,5	10,5	6,5
)ДТГ-20000/110	17	10,5	6	ТДТГ-60000/150	19,5	12,5	6
)ДТГ-20000/110	10,5	17	6	ОДТГ-60000/220	14,5	23	7,4
ДТГ-20000/110	17	10,5	6	ТДТГ-75000/110	11,5	21,5	8
ДТГ-20000/110	10,5	17	6	ТДНТ-75000/110	20	12	7,5
ДТГУ-20000/110	17	10,5	6	ОЦТГ-82500/220	22	14	8
ГДТГУ-20000/110	10,5	17	6	ОДТГ-90000/400	12,9	18,1	5,2
ГДТНГ-20000/110	18	11	6,5	ОЦТГ-123500/400	19,5	14,8	5,5
НГ-20000/110	11,7	19	6,7				

Примечание. Напряжения короткого замыкания $u_к$% отнесены к полной мощности 100% ки высшего напряжения.

Таблица 1-9

Параметры автотрансформаторов

Тип	$P_{ном}$, %			$u_к$, %		
	ВН	СН	НН	ВН—СН	ВН—НН	СН—НН
ОДТГА-40000/220	100	100	50	8,9	30	19,4
ОДТГА-60000/220	100	100	50	8,4	27,2	18,2
АТДТНГ-60000/220	100	100	37,5	9,35	34	22,9
ОДТГА-80000/220	100	100	50	8,7	30,4	19,8
АОДТГ-40000/220	100	100	50	8,2	29	18,6
АОДТГ-60000/220	100	100	50	8,5	27,4	18,4
АОДТГ-80000/220	100	100	50	6,2	22,4	15,8
АТДГ-90000/220	100	100	50	8	27,2	17,4
АОДТГ-90000/400	100	100	50	9,5	18,5	9,0
АОДТГ-90000/500	100	100	50	11,4	20,7	8,6
ОДТГА-120000/220	100	100	50	8,1	27,8	18,4
АТДТГ-120000/220	100	100	50	10,6	36,4	23
АТДЦТГ-120000/330	100	100	50	9,7	23,5	12
АОДТГ-135000/500	100	100	44,4	10,4	16,6	11,5
АОДЦТГ-90000/500	100	100	50	9,5	18,5	8,0
АОДЦТГ-135000/500	100	100	44,4	9,2	30,2	20
ОДТГА-138000/220	100	37,5	50	15,5	14,2	21
АОДТГ-167000/400	100	100	30	10,5	46,5	37,6
ОЦТГА-167000/400	100	100	50	10,5	51	40,5
ТДТГА-180000/150	100	100	14	6	47,1	38,6
АТДТГ-180000/150	100	100	14	3,6	42	37,7
ТДЦТГА-180000/220	100	100	50	12,4	11,5	17,7
ТДЦТГА-240000/220	100	100	50	12,3	13,5	18
АТДЦТГ-240000/220	100	100	50	10	32	22
АТДЦТГ-240000/330	100	100	37,5	11	37,5	24,5

Примечание. Напряжения короткого замыкания отнесены к проходной (номинальной) мощности автотрансформаторов. ВН—высшее напряжение; СН—среднее напряжение, НН—низшее напряжение.

Таблица 1-10

Параметры вольтодобавочных регулировочных агрегатов

Тип	U_1, *кв*	U_2, *кв*	$u_к$, %	$P_{х.х}$, *квт*	$P_к$, *квт*	$I_{х.х}$, %
		В двух баках				
ВРТДН-120000/35	10,5	±10×1,0	0—8	35,6	125,2	1,9
ВПТДГ-120000/110	26,4	10	10,8	49,5	92	3
ВРТДН-140000/35	13,8	±10×1,0	0—8	35,6	120	1,85
ВПТДГ-140000/110	12,1	10	10,4	49,5	95	3,1
АВРТДН-180000/110	11	±10,214	0,106—4,12	37	40,4	1,9
ВПТДГ-180000/110	22	10,214	10,55	61,3	114	3,1
АВРТДН-270000/10	11	±10,214	0,21—6,5	44,5	49,6	3,55
ВПТДГ-270000/110	15	10,214	8,22	108	116	3,5
АВРТЦН-370500/15	13,8	±22,814	0,24—7,4	43,4	103,5	2,3
ВПТЦГ-370500/110	12,1	12,814	10,1	111	199	2,3
		В одном баке				
ВРТДНУ-120000/35/35	38,5	+26,4÷0÷—26,4	4—12,1	31	140	2,1
ВРТДНУ-180000/35/35	38,5	+29,83÷0÷—31,44	4—8,84	69	111	4
ВРТДНУ-240000/35/15	13,8	+26,2÷0÷—24,2	0—12	70	175	4
ВРТДНУ-405000/35/35	38,5	+29,83÷0÷231,44	0—10,49	74	151	4

Примечание. ВР—вольтодобавочный регулировочный трансформатор; ВП—вольтодобавочный последовательный трансформатор; АВР—автовольтодобавочный регулировочный трансформатор.

$=x_{ab3}=x_{ab}$ — сквозные сопротивления и $x_{b1b2}=x_{b2b3}=x_{b1b3}=x_{\text{расщ.}}$ — сопротивления расщепления определяются по соответствующим напряжениям короткого замыкания.

Сопротивление лучей расчетной схемы определяется по выражениям:

$$\left.\begin{aligned} x_a &= x_{ab} - \frac{x_{\text{расщ}}}{6};\\ x_{b1} = x_{b2} = x_{b3} &= \frac{x_{\text{расщ}}}{2}. \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}8)$$

В общем виде при $x_{\text{расщ}} = x_{ab}$

$$\left.\begin{aligned} x_a &= \left(1 - \frac{m}{6}\right) x_{ab};\\ x_{b1} = x_{b2} = x_{b3} &= \frac{m}{2} x_{ab}. \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}8а)$$

Для трехобмоточных трансформаторов с одной обмоткой, расщепленной на две части, сопротивления лучей нерасщепленных обмоток определяются по (1-6), а для расщепленной обмотки — как $0{,}5\,x_{\text{расщ}}$.

z_{T2}, x_{T2} (z_{AT2}, x_{AT2}) — *полное и реактивное сопротивления обмотки трансформатора (автотрансформатора), обратной последовательности,* равны по величине сопротивлению прямой последовательности.

z_{T0}, x_{T0} (z_{AT0}, x_{AT0}) — *полное и реактивное сопротивление обмотки трансформатора (автотрансформатора) нулевой последовательности,* зависят от конструкции магнитопровода и схемы соединений обмоток трансформатора (автотрансформатора) (табл. 1-5, 1-6).

Сопротивление обмоток трансформаторов (автотрансформаторов), выраженное в омах, определяется по заданному напряжению короткого замыкания в процентах:

$$z_T = \frac{u_к\%}{100} \cdot \frac{U^2_{\text{ном}}}{S_{\text{ном}}}, \qquad (1\text{-}9)$$

где $U_{\text{ном}}$ — в киловольтах; $S_{\text{ном}}$ — в мегавольт-амперах.

Основные параметры трансформаторов и автотрансформаторов см. в табл. 1-7—1-10.

в) Реакторы

Омическое сопротивление реакторов весьма мало (составляет доли процента). Поэтому реакторы характеризуются только реактивным сопротивлением.

$x_р$ — *реактивное сопротивление реактора прямой последовательности,* задается в процентах, отнесенных к номинальным току и напряжению реактора, или индуктивностью, *мгн.*

x_{p2}, x_{p0} — *реактивные сопротивления реакторов обратной и нулевой последовательности,* равны по величине реактивному сопротивлению прямой последовательности $x_{p2}=x_{p0}=x_p$.

Расщепленные (сдвоенные) реакторы имеют обмотку, состоящую из двух ветвей (рис. 1-4,*а*). Сопротивление такого реактора зависит от того, протекает ток в одной или обеих ветвях, а также от его направления.

Для расчета расщепленный реактор может быть представлен схемой согласно рис. 1-4,*б*. Реактивное сопротивление одной ветви при отсутствии тока в другой $x_р$ и $m_{св}$ — коэффициент связи, величина которого зависит от конструкции реактора, даются в каталогах на реакторы.

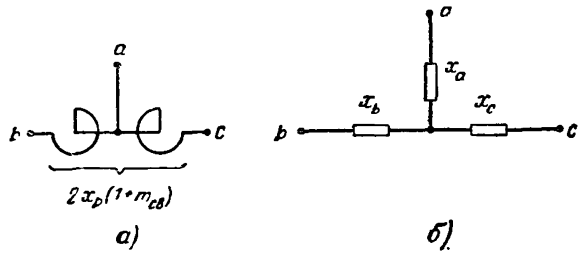


Рис. 1-4. Расщепленный реактор.
а — принципиальная схема; *б* — расчетная схема.

Сопротивления лучей эквивалентной звезды расчетной схемы реактора определяются выражениями:

$$\left.\begin{aligned} x_a &= -x_р m_{св};\\ x_b = x_c &= x_р(1 + m_{св}). \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}10)$$

На основании этого результирующее сопротивление между зажимами реактора определяется следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} x_{ab} &= x_{ac} = x_р;\\ x_{bc} &= 2x_р(1 + m_{св}). \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}10а)$$

Параметры некоторых типов расщепленных реакторов приведены в табл. 1-11.

Таблица 1-11

Технические параметры сдвоенных реакторов

Тип реактора	$x_р$, %	$m_{св}$
РБ-6-2×400-3% (9)	3	0,5
РБ-6-2×600-4% (12)	4	0,5
РБ-6-2×750-4% (12)	4	0,5
РБ-6-2×1000-5% (15)	5	0,5
РБ-6-2×1500-8% (24)	8	0,5
РБ-6-2×2000-10% (30)	10	0,5
РБ-6-2×2500-12% (36)	12	0,5
РБ-6-2×3000-15% (45)	15	0,5
РБ-6-2×750-7,5% (22,4)	7,5	0,5
РБ-6-2×750-10% (30)	10	0,5
РБ-6-2×2000-8% (24)	8	0,5
РБ-6-2×1000-12% (36)	12	0,5
РБ-6-2×750-6,25% (18,75)	6,25	0,5

Примечание. В обозначении реакторов 6 — номинальное напряжение; 400, 600, 750 и т. д. — номинальный ток ветви; 3%, 4%, 5% и т. д. — реактивное сопротивление (%) одной ветви при отсутствии тока в другой; число в скобках — реактивное сопротивление (%) при прохождении тока через обе обмотки реактора.

г) Воздушные линии электропередач

$r_л$ — *омическое сопротивление линии,* определяется по выражению

$$r_л = \frac{l}{\gamma s}, \qquad (1\text{-}11)$$

где l — длина линии, *м*;

γ — удельная проводимость материала проводов линии;

s — площадь сечения проводов линии, *мм²*.

$x_л$ — *реактивное (индуктивное) сопротивление линии прямой последовательности* определяется выражением

$$x_л = 0{,}145 \lg \frac{D_{ср}}{r_{э.пр}}, \text{ ом/км}. \quad (1\text{-}12)$$

$r_{э.пр}$ — эквивалентный радиус провода, *см*, равный:
для сплошных проводов (кроме стальных) $0{,}779 r_{пр}$;
для витых медных проводов:

при 7 проволоках . . . . . $0{,}724\ r_{пр}$;
при 19 проволоках . . . . . $0{,}759\ r_{пр}$;
при 37 проволоках . . . . . $0{,}767\ r_{пр}$;
при 61 проволоке . . . . . $0{,}771\ r_{пр}$;
для алюминиевых проводов со стальной жилой . . . . . $0{,}950\ r_{пр}$;

где $r_{пр}$ — фактический радиус провода.

Реактивные сопротивления прямой последовательности воздушных линий электропередачи для практических расчетов могут приниматься равными:

При напряжении	3—10 *кв*	$x_л = 0{,}32$ *ом/км*
„ „	35—110 *кв*	$x_л = 0{,}4$ *ом/км*
„ „	220 *кв*	$x_л = 0{,}44$ *ом/км*
„ „	400—500 *кв*	$x_л = 0{,}3$ *ом/км*.

$x_{л2}$ — *реактивное (индуктивное) сопротивление линии обратной последовательности, равно сопротивлению прямой последовательности, т. е.*

$$x_{л2} = x_л;$$

используется при расчетах несимметричных коротких замыканий.

$x_{л0}$ — *реактивное (индуктивное) сопротивление линии нулевой последовательности;* используется при расчетах однофазных и двухфазных на землю коротких замыканий.

В зависимости от наличия грозозащитных тросов, их количества и материала, а также наличия параллельных линий удельное сопротивление нулевой последовательности (*ом/км*) определяется следующими выражениями:

1. Сопротивление нулевой последовательности одинарной линии без грозозащитных тросов

$$x_{л0} = 0{,}435 \lg \frac{D_g}{\sqrt[3]{D_{ср}^2 r_{э.пр}}}. \quad (1\text{-}13)$$

2. Сопротивление взаимоиндукции нулевой последовательности между двумя параллельными линиями I-II

$$x_{вз0\,I\text{-}II} = 0{,}435 \lg \frac{D_g}{D_{I\text{-}II}}. \quad (1\text{-}14)$$

3. Сопротивление нулевой последовательности двух параллельных линий I и II без грозозащитных тросов с учетом взаимоиндукции между линиями:

а) общее выражение для эквивалентного сопротивления двух линий

$$x_{л.эк.0} = x_{0\,I\text{-}II} + \frac{(x_{лI0} - x_{0\,I\text{-}II})(x_{лII0} - x_{0\,I\text{-}II})}{x_{лI0} + x_{лII0} + 2x_{0\,I\text{-}II}}; \quad (1\text{-}15)$$

б) то же для одинаковых параллельных линий, т. е. когда

$$x_{л0\,I} = x_{л0\,II} = x_{л0},$$

$$x_{л\,эк0} = \frac{x_{л0} + x_{вз0\,I\text{-}II}}{2}; \quad (1\text{-}15а)$$

в) сопротивление нулевой последовательности одной линии с учетом взаимоиндукции параллельной линии

$$x^{п}_{л0} = 2x_{л.эк0} \quad (1\text{-}15б)$$

4) Сопротивление нулевой последовательности грозозащитного троса

$$x_{тр0} = 0{,}435 \lg \frac{D_g}{r_{э.тр}}. \quad (1\text{-}16)$$

5. Сопротивление взаимоиндукции нулевой последовательности между грозозащитным тросом и линией

$$x_{вз\,л.тр} = 0{,}435 \lg \frac{D_g}{D_{л.тр}}. \quad (1\text{-}17)$$

6. Сопротивление нулевой последовательности одинарной линии с грозозащитным тросом

$$x^{тр}_{л0} = x_{л0} - \frac{x_{вз.л.тр}}{x_{тр0}}. \quad (1\text{-}18)$$

7. Сопротивление взаимоиндукции нулевой последовательности между двумя параллельными линиями I и II с учетом грозозащитных тросов:

а) общее выражение

$$x^{тр}_{вз0\,I\text{-}II} = x_{вз0\,I\text{-}II} - \frac{x^{тр}_{л0\,I}\, x^{тр}_{л0\,II}}{x_{тр0}}; \quad (1\text{-}19)$$

б) при симметричном расположении грозозащитных тросов относительно линий (цепей двухцепной линии), т. е. когда $x^{тр}_{л0\,I} = x^{тр}_{л0\,II} = x^{тр}_{л0}$,

$$x^{тр}_{вз0I\text{-}II} = x_{вз\,0I\text{-}II} - \frac{x^2_{вз0л.тр}}{x_{тр0}}. \quad (1\text{-}19а)$$

8. Сопротивление нулевой последовательности двух параллельных линий I и II с грозозащитными тросами с учетом сопротивления взаимоиндукции между линиями и между линиями и тросами:

а) общее выражение для эквивалентного сопротивления двух линий

$$x^{тр}_{лэк0} = x^{тр}_{вз0I\text{-}II} + \frac{\left(x^{тр}_{л0\,I} - x^{тр}_{вз0\,I\text{-}II}\right)\left(x^{тр}_{л0\,II} - x^{тр}_{вз0\,I\text{-}II}\right)}{x^{тр}_{л0\,I} + x^{тр}_{л0\,II} + 2x^{тр}_{вз0\,I\text{-}II}}; \quad (1\text{-}20)$$

б) то же в случае одинаковых параллельных линий и симметричного расположения тросов относительно линий (см. п. 3, „б")

$$x^{тр}_{лэк0} = x_{л\,эк0} - \frac{x^2_{вз0\,л\,тр}}{x_{тр0}}; \quad (1\text{-}20а)$$

в) сопротивление нулевой последовательности одной линии с учетом взаимоиндукции параллельной линии и тросов

$$x^{п.тр}_{л0} = 2x^{тр}_{лэк0}; \quad (1\text{-}20б)$$

В этих выражениях:

$r_э$ — эквивалентный радиус провода или грозозащитного троса;

$D_g = 1\,000$ *м* — эквивалентная глубина протекания обратного тока в земле;

$D_{ср}$ — среднее геометрическое расстояние между проводами фаз линии,

$$D_{ср} = \sqrt[3]{D_{1\text{-}2} D_{2\text{-}3} D_{3\text{-}1}}, \quad (1\text{-}21)$$

где $D_{1\text{-}2}$, $D_{2\text{-}3}$, $D_{3\text{-}1}$ — расстояния между проводами фаз линии, *см*;

$D_{\text{I-II}}$ — среднее геометрическое расстояние между проводами фаз двух параллельных линий,

$$D_{\text{I-II}} = \sqrt[9]{D_{1\text{-}1}, D_{1\text{-}2}, D_{1\text{-}3}, D_{2\text{-}1}, D_{2\text{-}2}, D_{2\text{-}3}, D_{3\text{-}1}, D_{3\text{-}2}, D_{3\text{-}3}}, \quad (1\text{-}22)$$

где $D_{1\text{-}1}, \ldots, D_{3\text{-}3}$ — расстояния между каждым из проводов одной и другой линий;

$D_{\text{л.тр}}$ — среднее геометрическое расстояние между проводами линий и грозозащитным тросом,

$$D_{\text{л.тр}} = \sqrt[3]{D_{1\text{-тр}} D_{2\text{-тр}} D_{3\text{-тр}}}, \quad (1\text{-}23)$$

где $D_{1\text{-тр}}$, $D_{2\text{-тр}}$, $D_{3\text{-тр}}$ — расстояния между каждым проводом линии и грозозащитным тросом.

При двух (и более) тросах в расчетные выражения вместо $r_{\text{э.тр}}$ подставляются $r_{\text{ср.тр}}$:

$$r_{\text{ср.тр}} = \sqrt[p]{r_{\text{э.тр}} D_{\text{ср.тр}}^{p-1}}, \quad (1\text{-}24)$$

где $D_{\text{ср.тр}}$ — среднее геометрическое расстояние между тросами.

$$D_{\text{ср.тр}} = \sqrt[\frac{(p-1)\,p}{2}]{\text{Произведение из возможных расстояний между тросами}}, \quad (1\text{-}25)$$

где p — число грозозащитных тросов.

Среднее геометрическое расстояние между проводами линии и грозозащитными тросами в этом случае определяется как

$$D_{\text{ср.л.тр}} = \sqrt[3p]{D_{1\text{-тр}1} D_{2\text{-тр}2} D_{3\text{-тр}3} \cdots D_{1\text{-тр}2} D_{1\text{-тр}3} \cdots D_{2\text{-тр}1} D_{2\text{-тр}3} \cdots} \quad (1\text{-}26)$$

Сопротивления нулевой последовательности линий для практических расчетов могут приниматься равными:

Одинарные линии	**Параллельные** двухцепные линии
без тросов	
$x_{\text{л}0} \approx 3{,}5 x_{\text{л}}$	$x_{\text{л}0} \approx 5{,}5 x_{\text{л}}$
с тросами	
$x_{\text{л}0} \approx 2 x_{\text{л}}$	$x_{\text{л}0} \approx 3 x_{\text{л}}$

Приведенные значения для линии с грозозащитными тросами справедливы при медных или алюминиевых тросах. При стальных тросах сопротивление нулевой последовательности примерно на 10% меньше, чем у линий без тросов.

д) Кабельные линии электропередач

$r_{\text{к}}$ — *омическое сопротивление кабельной линии* определяется так же, как и для воздушной линии (§ 1-2,г);

$x_{\text{к}}$ — *реактивное (индуктивное) сопротивление кабельной линии прямой последовательности.*

Средние значения для практических расчетов могут приниматься равными:

для кабельных линий 6—10 *кв* . . . 0,08 *ом/км*
» » » 35 *кв* . . . 0,12 *ом/км*
» » » 110 *кв* . . . 0,175 *ом/км*

$x_{\text{к2}}$ — *реактивное (индуктивное) сопротивление кабельной линии обратной последовательности*, равно сопротивлению прямой последовательности:

$$x_{\text{к2}} = x_{\text{к}};$$

используется при расчетах несимметричных коротких замыканий.

$x_{\text{к0}}$ — *реактивное (индуктивное) сопротивление кабельной линии нулевой последовательности;* используется при расчетах однофазных и двухфазных на землю коротких замыканий.

Средние значения $x_{\text{к0}}$ для практических расчетов принимаются равными:

для кабельных линий 6—10 *кв* . . $\sim 4{,}6\, x_{\text{к}}$
» » » 35 *кв* . . $\sim 4{,}6\, x_{\text{к}}$
» » » 110 *кв* . . $\sim 0{,}5$—$0{,}7\, x_{\text{к}}$

Сопротивления для медных трехжильных кабелей приведены в табл. 1-12.

Таблица 1-12

Активное и индуктивное сопротивления медных трехжильных кабелей с поясной изоляцией

s, *мм*²	$r_{\text{уд}}$ при 20° С, *ом/км*	$U_{\text{ном}}$, *кв*			
		6	10	20	35
		$x_{\text{уд}}$, *ом/км*			
1,5	12,3	—	—	—	—
2,5	7,35	—	—	—	—
4	4,6	—	—	—	—
6	3,07	—	—	—	—
10	1,84	0,11	0,122	—	—
16	1,15	0,102	0,113	—	—
25	0,74	0,091	0,099	0,135	—
35	0,52	0,087	0,095	0,129	—
50	0,37	0,083	0,09	0,119	—
70	0,26	0,08	0,086	0,116	0,137
95	0,194	0,078	0,083	0,11	0,126
120	0,153	0,076	0,081	0,107	0,120
150	0,122	0,074	0,079	0,104	0,116
185	0,099	0,073	0,077	0,101	0,113
240	0,077	0,071	0,075	—	—
300	0,061	—	—	—	—

1-3. РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ

а) Вид короткого замыкания и момент времени от начала короткого замыкания

Виды коротких замыканий и моменты времени от начала короткого замыкания, для которых вычисляются токи и напряжения, зависят от назначения расчета. Ниже приводятся рекомендации для типовых случаев.

б) Место короткого замыкания

Место короткого замыкания в зависимости от назначения расчета выбирается из следующих основных соображений:

1. Ток короткого замыкания должен проходить по ветвям, для которых выбирается (проверяется) аппаратура или рассчитываются параметры релейной защиты.

Назначение расчета	Вид короткого замыкания	Момент времени от начала короткого замыкания
Выбор или проверка коммутационных аппаратов (выключателей, разъединителей и др.), реакторов, трансформаторов тока, шин, силовых кабелей:		
а) на термическую устойчивость	Трехфазное	∞
б) на динамическую устойчивость	Трехфазное	0
в) выключателей на допустимый отключаемый ток или мощность	Трехфазное	$t = t_{защ} + t_{выкл}$ практически $t = 0{,}1 - 0{,}2$ *сек*
Расчет параметров мгновениых отсечек по току и напряжению от междуфазных коротких замыканий:		
а) выбор тока или напряжения срабатывания	Трехфазное	0
б) определение зоны действия или коэффициентов чувствительности	Двухфазное	0
Расчет параметров мгновенных отсечек по току и напряжению от однофазных коротких замыканий	Однофазное или двухфазное на землю	0
Расчет параметров максимальных, максимальных направленных защит и защит с пуском минимального напряжения от междуфазных коротких замыканий с выдержкой времени 0.5 *сек* и более:		
а) выбор тока или напряжения срабатывания	Трехфазное	∞
б) определение коэффициентов чувствительности	Двухфазное	∞
Расчет параметров максимальных, максимальных направленных защит и защит с пуском минимального напряжения от однофазных коротких замыканий с выдержкой времени 0,5 *сек* и более	Однофазное	∞
Определение коэффициентов распределения при выборе уставок вторых и третьих ступеней дистанционных защит от междуфазных коротких замыканий	Трехфазное	∞
Согласование по чувствительности вторых и третьих ступеней токовых защит и защит с пуском минимального или максимального напряжения:		
а) от междуфазных коротких замыканий	Трехфазное	∞
б) от однофазных коротких замыканий	Однофазное	∞
Расчет токов небаланса трансформаторов тока	Трехфазное или однофазное	0
Определение коэффициентов чувствительности дифференциальных защит (линий, трансформаторов, шин и др.)		
а) только от междуфазных коротких замыканий	Двухфазное	0
б) только от однофазных коротких замыканий	Однофазное	0
в) от всех видов коротких замыканий	Однофазное и двухфазное	0

Примечания: 1. В тех случаях, когда коэффициенты чувствительности, определенные по току трехфазного короткого замыкания, получаются в 1,5 и более раз больше минимально допустимых значений (раздел 5), проверку чувствительности по току двухфазного короткого замыкания можно не делать.

2. Установившиеся токи короткого замыкания можно заменять начальными в следующих случаях:

а) при значительной удаленности места короткого замыкания от генераторов, когда их сопротивление составляет незначительную долю в суммарном сопротивлении до места короткого замыкания;

б) при наличии на всех или на большинстве генераторов автоматических регуляторов возбуждения, использующих максимальное возбуждение (потолок).

2. Для определения наибольшего значения тока короткого замыкания при данном режиме (§ 1-3,в) место короткого замыкания выбирается у места установки защиты (в начале линии, до реактора, до трансформатора и т. д., считая от источника питания). Для определения наименьшего значения тока короткого замыкания место короткого замыкания выбирается в конце защищаемого участка или в конце следующего (резервируемого) участка для проверки резервирующего действия защиты.

3. Для согласования чувствительности двух устройств релейной защиты место короткого замыкания выбирается в конце зоны действия того устройства, с которым ведется согласование.

4. Для определения коэффициентов распределения место короткого замыкания выбирается в конце участка, следующего за узлом, в котором происходит подпитка или распределение токов короткого замыкания.

в) Режим, предшествующий короткому замыканию

Режим работы системы, предшествующий короткому замыканию, весьма сильно влияет на величину токов короткого замыкания. Поэтому правильный учет режима является важным элементом выбора расчетных условий.

Так, если расчет выполняется для выбора или проверки аппаратуры, то расчетный режим должен быть таким, при котором ток короткого замыкания имеет наибольшее значение. Для этого необходимо учитывать не только полную мощность энергосистемы, но и перспективу ее развития, а также наличие на всех генераторах автоматических регуляторов возбуждения.

При выборе уставок мгновенных токовых отсечек также должен приниматься режим, при котором по защищаемому объекту проходит максимальный ток короткого замыкания.

С другой стороны, при проверке надежности действия релейной защиты, определяемой коэффициентами чувствительности, расчетный режим должен выбираться так, чтобы получить минимальные, но практически реальные величины токов короткого замыкания.

При определении коэффициентов распределения для согласования характеристик релейной защиты необходимо принимать практически возможный минимальный режим.

Таким образом, для определения максимального или минимального значения тока короткого замыкания режим работы системы принимается соответственно максимальным или минимальным.

Максимальный режим характеризуется следующими условиями:

1) включены все источники питания (генераторы, трансформаторы, линии), питающие сеть или распределительное устройство, в которых рассматривается короткое замыкание;

2) при расчете коротких замыканий на землю включены все трансформаторы и автотрансформаторы, нормально работающие с заземленной нейтралью;

3) схема участка сети, непосредственно примыкающая к месту короткого замыкания, такова, что по защищаемому элементу проходит максимальный ток короткого замыкания. Например, при наличии двух параллельных линий и коротком замыкании на шинах приемной подстанции максимальный ток короткого замыкания в месте короткого замыкания будет максимальным, если включены обе линии.

Однако ток короткого замыкания по одной линии, составляющий половину полного тока короткого замыкания в месте короткого замыкания, может в этом случае не быть максимальным.

Максимальный ток короткого замыкания по одной линии может оказаться в режиме, когда одна из линий отключена, так как при этом ток короткого замыкания в месте короткого замыкания хотя меньше, чем в первом случае, но весь проходит по оставшейся в работе линии.

Аналогично в кольцевой сети ток короткого замыкания по линиям будет максимальным при разомкнутом кольце, а в месте короткого замыкания — при замкнутом.

Минимальный режим характеризуется условиями, противоположными максимальному режиму.

Для определения минимального тока короткого замыкания в расчете принимается отключенной практически возможная часть источников питания (генераторов, трансформаторов, линий), а схема соединений принимается такой, при которой по защищаемому элементу проходит минимальный ток короткого замыкания.

г) Учет активных сопротивлений и емкостной проводимости

Активные сопротивления элементов электрической системы при выполнении практических расчетов учитываются в случаях, когда $r > {}^1/_3\, x$.

Практическая необходимость учета активных сопротивлений возникает при расчетах токов короткого замыкания в кабельных сетях, воздушных сетях с малыми сечениями проводов и в сетях со стальными проводами.

Емкостная проводимость учитывается при расчетах токов короткого замыкания в сети напряжением 330—500 *кв* и выше.

д) Учет нагрузки

1. Учет асинхронных электродвигателей как источников питания короткого замыкания производится при определении ударного тока короткого замыкания в случаях, когда место короткого замыкания находится в непосредственной близости от электродвигателей и суммарная их мощность более 1 000 *ква*.

Отдельно учитываются только крупные электродвигатели, остальные электродвигатели вместе с другими нагрузками учитываются в обобщенном виде.

Расчетная схема обобщенной нагрузки и электродвигателей характеризуется сверхпереходным реактивным сопротивлением $x''_{*дв}$ и приложенной за ним сверхпереходной э. д. с. $E''_{*дв}$, имеющими следующие средние значения:

	$x''_{*дв}$	$E''_{*дв}$
Асинхронные электродвигатели . . .	0,12	0,9
Обобщенная нагрузка (для прямой и обратной последовательности) . . .	0,35	0,8

(Значения $x''_{*дв}$ и $E''_{*дв}$ выражены в относительных единицах при суммарной номинальной мощности и среднем номинальном напряжении ступени, где присоединены электродвигатели).

2. Токи нагрузки предшествующего режима при выполнении практических расчетов, как правило, учитываются, так как неучет их приводит к недопустимо большим погрешностям в расчете.

При выполнении расчетов методом кривых затухания учет нагрузки происходит автоматически, так как кривые затухания построены с учетом нагрузки в виде шунта полного сопротивления,

$$z_{*наг} = 0{,}8 + j0{,}6.$$

При выполнении расчетов другими методами нагрузка учитывается в виде шунта реактивного сопротивления $x_{*наг} = 1{,}2$ (значения $z_{*наг}$ и $x_{*наг}$ выражены в относительных единицах при суммарной номинальной мощности нагрузки и среднем номинальном напряжении ступени, где присоединена нагрузка).

е) Учет сопротивления электрической дуги в месте короткого замыкания

Практические расчеты токов короткого замыкания для выбора и проверки аппаратуры и выбора уставок релейной защиты производятся без учета сопротивления электрической дуги в месте короткого замыкания, т. е. в предположении, что имеет место металлическое короткое замыкание.

Расчеты с учетом сопротивления электрической дуги производятся в отдельных случаях, например при анализе действия релейной защиты и др. (раздел 5).

Таблица 1-13

Расчетные выражения для элементов электрической системы, входящих в эквивалентную расчетную схему

Выполняемые операции	Генераторы, синхронные компенсаторы, электродвигатели	Трансформаторы, автотрансформаторы	Реакторы	Воздушные, кабельные линии
Определение величины сопротивлений, *ом*	$x_Г = \frac{x_Г\% U^2_{ном}}{S_{ном}}$	$r_Т = \frac{u_{ка}\%}{100} \cdot \frac{U^2_{ном}}{S_{ном}}$ $z_Т = \frac{u_к\%}{100} \cdot \frac{U^2_{ном}}{S_{ном}}$ $x_Т = \sqrt{z^2_Т - r^2_Т}$ при $r_Т < \frac{1}{3} x_Т$ принимается $x_Т \approx z_Т$	1) $x_р = 2\pi f L_{ном} \cdot 10^{-3}$ 2) $x_р = \frac{x_р\%}{100} \cdot \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} I_{ном}}$	$x_л = x_{л.уд} l$
Приведение сопротивлений, э. д. с. и токов, заданных в именованных единицах, к расчетному напряжению по средним номинальным напряжениям	$x_{расч} = x \left(\frac{U_{расч}}{U_{ср.ном}} \right)^2$ $E_{расч} = E \frac{U_{расч}}{U_{ср.ном}}$ $I_{расч} = I \frac{U_{ср.ном}}{U_{расч}}$			
Пересчет сопротивлений, э. д. с. и токов, выраженных в именованных единицах, к относительным единицам и к базисным условиям ($S_{баз}$, $U_{баз}$)	$x_{*баз} = x \frac{S_{баз}}{U^2_{баз}}$ $E_{*баз} = \frac{E}{U_{баз}}$ $I_{*баз} = \frac{I}{I_{баз}}$			
Пересчет сопротивлений и э. д. с., выраженных в относительных единицах, к базисным условиям	$E_{*баз} = E_* \frac{U_{ср.ном}}{U_{баз}}$ $x_{*Г.баз} = \frac{x_Г\%}{100} \cdot \frac{S_{баз}}{S_{ном}} \cdot \frac{U^2_{ср.ном}}{U^2_{баз}}$	$z_{*Т.баз} \approx x_{*Т.баз} = \frac{u_к\%}{100} \cdot \frac{S_{баз}}{S_{ном}} \cdot \frac{U^2_{ср.ном}}{U^2_{баз}}$	$x_{*р.баз} = \frac{x_р\%}{100} \times \frac{I_{баз}}{I_{ном}} \cdot \frac{U_{ср.ном}}{U_{баз}}$	—
То же при условии, что базисное напряжение принято равным среднему номинальному напряжению	$E_{*баз} = E_*$ $x_{*Г.баз} = \frac{x_Г\%}{100} \cdot \frac{S_{баз}}{S_{ном}}$	$z_{*Т.баз} \approx x_{*Т.баз} = \frac{u_к\%}{100} \cdot \frac{S_{баз}}{S_{ном}}$	$x_{*р.баз} = \frac{x_р\%}{100} \cdot \frac{I_{баз}}{I_{ном}}$	—

Пояснение. 1. Принята следующая размерность именованных величин: r, x z—*ом*; L—*мгн*; $x_{л.уд}$—*ом/км*; l—*км*; $U_{расч}$, $U_{ср.ном}$, $U_{баз}$, E, $E_{расч}$—*кв*; I, $I_{ном}$, $I_{баз}$—*ка*; $S_{ном}$, $S_{баз}$—*Мва*.

2. $U_{баз}$ и $I_{баз}$—базисные напряжения и ток на той ступени трансформации, на которой находятся приводимые элементы электрической системы; $S_{баз}$—базисная мощность, одна и та же на всех ступенях трансформации;

$$I_{баз} = \frac{S_{баз}}{\sqrt{3} \cdot U_{баз}}.$$

1-4. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ РАСЧЕТНАЯ СХЕМА

а) Расчетная схема

Поскольку при симметричных коротких замыканиях все фазы находятся в одинаковых условиях, а при несимметричных коротких замыканиях расчет ведется методом симметричных составляющих (§ 1-6), то расчетная схема изображается для одной фазы (однолинейное изображение).

Все элементы электрической схемы, связанные с местом короткого замыкания (трансформаторы, линии, реакторы и др.), замещаются соответствующими сопротивлениями. Источники питания (генераторы, синхронные компенсаторы, крупные электродвигатели) замещаются э. д. с., приложенными за соответствующими сопротивлениями. Элементы с магнитной связью (трансформаторы) замещаются расчетной схемой, в которой магнитносвязанные цепи заменяются электрически связанными цепями. Нагрузки учитываются обобщенной схемой или шунтом реактивного сопротивления (§ 1-3,д).

б) Эквивалентная расчетная схема

Для получения эквивалентной расчетной схемы все элементы расчетной схемы, находящиеся на разных ступенях трансформации, приводятся к одной из них, принимаемой за основную или базисную.

Кроме того, при выполнении расчета в относительных единицах все элементы расчетной схемы приводятся к базисной мощности.

За базисную мощность $S_{баз}$ принимается любое удобное для вычислений значение мощности, выраженное в мегавольт-амперах.

За базисное (расчетное) напряжение $U_{баз}$ ($U_{расч}$) принимается, как правило, среднее номинальное напряжение $U_{ср.ном}$.

Приведение к базисному (расчетному) напряжению при практических расчетах производится, как правило, не по действительным коэффициентам трансформации трансформаторов, а по отношениям средних номинальных напряжений: 500; 400; 330; 230; 115; 37; 15,75; 10,5; 6,3; 3,15; 0,525 *кв*.

Выражения для определения, приведения и пересчета элементов электрической системы, выраженных как в именованных, так и в относительных единицах, приведены в табл. 1-13.

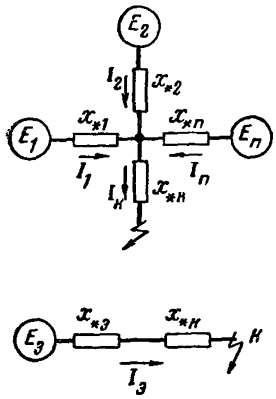


Рис. 1-5. Определение эквивалентной э. д. с. и эквивалентного сопротивления.

При приведении сопротивления реакторов к базисным условиям необходим учет действительных номинальных напряжений, так как реакторы могут использоваться в установках с более низким номинальным напряжением.

Кроме того, сопротивление реактора часто велико по сравнению с сопротивлениями других элементов и учет действительных сопротивлений дает необходимое уточнение расчетов.

в) Приведение эквивалентной расчетной схемы к простейшему виду

Для вычисления тока короткого замыкания полученная эквивалентная расчетная схема путем постепенных преобразований приводится к результирующему сопротивлению, по одну сторону которого расположена результирующая э. д. с., а по другую — место короткого замыкания.

Выражения для преобразования сопротивлений даны в табл. 1-14.

При наличии нескольких источников питания последние заменяются одним с эквивалентными э. д. с. $E_э$ и сопротивлением $x_э$, которые определяются следующими выражениями (рис. 1-5):

$$E_э = \frac{E_1\frac{1}{x_1} + E_2\frac{1}{x_2} + \ldots + E_n\frac{1}{x_n}}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \ldots + \frac{1}{x_n}}; \qquad (1\text{-}27)$$

$$x_э = \frac{1}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \ldots + \frac{1}{x_n}}. \qquad (1\text{-}28)$$

При двух источниках питания (1-27) и (1-28) принимают вид:

$$E_э = \frac{E_1x_2 + E_2x_1}{x_1 + x_2}; \qquad (1\text{-}27а)$$

$$x_э = \frac{x_1x_2}{x_1 + x_2}. \qquad (1\text{-}28а)$$

1-5. ВЫЧИСЛЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ СИММЕТРИЧНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

а) Эквивалентная расчетная схема

Эквивалентная расчетная схема составляется в соответствии с § 1-4,б и в. При этом все элементы электрической системы включаются в схему своими сопротивлениями прямой последовательности, а генерирующие источники — сопротивлениями прямой последовательности и э. д. с.

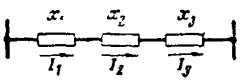
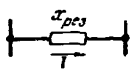
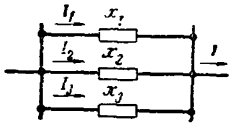
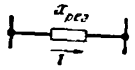
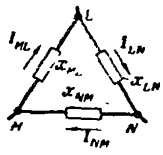
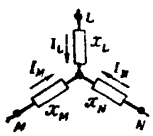
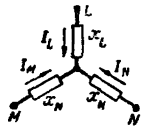
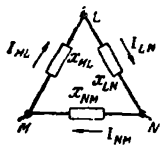
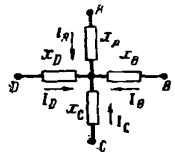
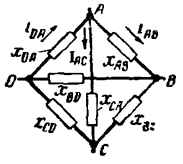
Схема приводится к простейшему виду (табл. 1-14), и вычисляются результирующее сопротивление $x_{рез}$ и результирующая э. д. с. $E_{рез}$.

б) Вычисление периодической составляющей тока короткого замыкания при питании от системы (источника) бесконечной мощности

Этот наиболее простой метод вычисления тока короткого замыкания используется в тех случаях, когда величина тока короткого замыкания в основном опре-

Таблица 1-14

Преобразование элементов расчетной схемы

Схемы		Сопротивление элементов преобразованной схемы	Распределение токов в схеме до ее преобразования
до преобразования	после преобразования		
		$x_{рез} = x_1 + x_2 + x_3$	$I_1 = I_2 = I_3 = I$
		$x_{рез} = \dfrac{1}{\dfrac{1}{x_1} + \dfrac{1}{x_2} + \dfrac{1}{x_3}}$	$I_1 = I\dfrac{x_{рез}}{x_1}$ $I_2 = I\dfrac{x_{рез}}{x_2}$ $I_3 = I\dfrac{x_{рез}}{x_3}$
		$x_L = \dfrac{x_{ML}x_{LN}}{x_{ML}+x_{LN}+x_{NM}}$ $x_M = \dfrac{x_{ML}x_{NM}}{x_{ML}+x_{LN}+x_{NM}}$ $x_N = \dfrac{x_{NM}x_{LN}}{x_{ML}+x_{LN}+x_{NM}}$	$I_{ML} = \dfrac{I_M x_M - I_L x_L}{x_{ML}}$ $I_{LN} = \dfrac{I_L x_L - I_N x_N}{x_{LN}}$ $I_{NM} = \dfrac{I_N x_N - I_M x_M}{x_{NM}}$
		$x_{ML} = x_L + x_M + \dfrac{x_L x_M}{x_N}$ $x_{LN} = x_L + x_N + \dfrac{x_L x_N}{x_M}$ $x_{NM} = x_N + x_M + \dfrac{x_N x_M}{x_L}$	$I_L = I_{LN} - I_{ML}$ $I_M = I_{ML} - I_{NM}$ $I_N = I_{NM} - I_{LN}$
		$x_{AB} = x_A x_B \Sigma y$ $x_{AC} = x_A x_C \Sigma y$ . . . . $\Sigma y = \dfrac{1}{x_A} + \dfrac{1}{x_B} + \dfrac{1}{x_C} + \dfrac{1}{x_D}$	$I_A = I_{AB} + I_{AC} - I_{DA}$ . . . . и т. д.

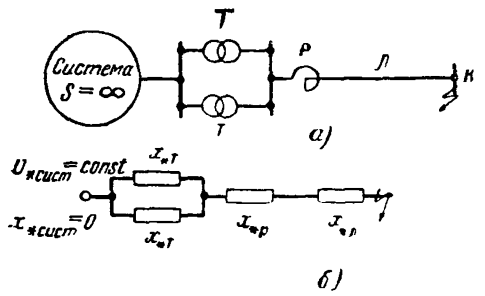


Рис. 1-6. Вычисление тока короткого замыкания при питании от источника бесконечно большой мощности.
а — расчетная схема сети; *б* — эквивалентная расчетная схема, $x_{*рез}=\frac{x_{*T}}{2}+x_{*р}+x_{*л}$.

деляется сопротивлениями элементов, находящихся между источником питания и местом короткого замыкания, а сопротивление самого источника питания мало.

Сопротивление системы (источника) бесконечной мощности принимается равным нулю, а напряжение — постоянной величине.

Исходя из этого, величина тока короткого замыкания определяется по следующим выражениям:

1. **Параметры элементов системы выражены в именованных единицах:**

$$I_{к.з}=\frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3}x_{рез}}, \qquad (1\text{-}29)$$

где $U_{ср.ном}$ — среднее номинальное напряжение, *кв*, той ступени трансформации, к которой приведено результирующее сопротивление;
$x_{рез}$ — результирующее сопротивление, *ом* (рис. 1-6);
$I_{к.з}$ — искомый ток короткого замыкания, *ка*.

2. **Параметры элементов системы выражены в относительных единицах:**

$$I_{к.з}=\frac{I_{баз}}{x_{*рез.баз}} \qquad (1\text{-}30)$$

или

$$I_{к.з}=\frac{S_{баз}}{\sqrt{3}U_{баз}x_{*рез.баз}}, \qquad (1\text{-}30а)$$

где $S_{баз}$ — базисная мощность, *Мва*;
$I_{баз}$ — базисный ток, *ка*;
$U_{баз}$ — базисное напряжение, *кв*;
$x_{*рез.баз}$ — результирующее сопротивление, выраженное в относительных единицах и приведенное к базисным условиям;
$I_{к.з}$ — искомый ток короткого замыкания, *ка*.

Вычисленная таким методом периодическая составляющая тока короткого замыкания во времени не изменяется (не затухает), т. е. соответствует как начальному, так и установившемуся значениям.

3. **Упрощенные выражения для вычисления периодической составляющей тока короткого замыкания при питании от системы (источника) бесконечной мощности** (табл. 1-15).

в) Вычисление периодической составляющей тока короткого замыкания при питании от мощной системы и заданном токе или мощности короткого замыкания в одной из точек

По заданному току или мощности короткого замыкания (например, на шинах подстанции) определяется сопротивление системы и принимается, что за этим сопротивлением находится источник бесконечной мощности (рис. 1-7).

Определяется результирующее сопротивление, и вычисляется ток короткого замыкания по (1-29), (1-30) и (1-30а).

Сопротивление системы по заданному току или мощности короткого замыкания определяется следующим образом.

1. **Параметры элементов системы выражены в именованных единицах:**

$$x_{сист}=\frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3}I_{к.з.зад}} \qquad (1\text{-}31)$$

или

$$x_{сист}=\frac{U^2_{ср.ном}}{S_{к.з.зад}}, \qquad (1\text{-}31а)$$

где $I_{к.з.зад}$, $S_{к.з.зад}$ — заданные ток, *ка*, или мощность, *Мва*, короткого замыкания;
$U_{ср.ном}$ — среднее номинальное напряжение, *кв*, на той ступени трансформации, для которой заданы ток или мощность короткого замыкания;
$x_{сист}$ — сопротивление системы до шин подстанции, *ом*.

2. **Параметры элементов системы выражены в относительных единицах:**

$$x_{*сист}=\frac{I_{баз}}{I_{к.з.зад}} \qquad (1\text{-}32)$$

или

$$x_{*сист}=\frac{S_{баз}}{\sqrt{3}U_{ср.ном}I_{к.з.зад}}, \qquad (1\text{-}32а)$$

$$x_{*сист}=\frac{S_{баз}}{S_{к.з.зад}}, \qquad (1\text{-}32б)$$

где $I_{баз}$, $S_{баз}$ — базисные ток, *ка*, и мощность, *Мва*;
$x_{*сист}$ — сопротивление системы, выраженное в относительных единицах, отнесенное к базисным условиям.

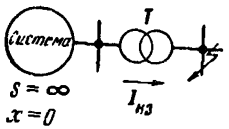
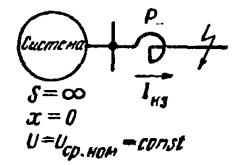
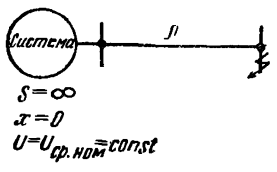
г) Вычисление начального значения периодической составляющей тока короткого замыкания при питании от генераторов

1. В соответствии с § 1-4,б и в составляется эквивалентная расчетная схема, в которой все элементы энергосистемы включаются своими сопротивлениями прямой последовательности, а генерирующие источники — своими сверхпереходными сопротивлениями x''_d и сверхпереходной э. д. с. E''. При этом учитывается только нагрузка, связанная непосредственно с местом короткого замыкания.

2. Определяются $E_{рез}$ и $x_{рез}$.

Таблица 1-15

Выражения для вычисления токов короткого замыкания

Место короткого замыкания	Расчетная схема	Формулы для определения предельного тока короткого замыкания	Определения
За трансформатором		$I_{к.з}=\frac{I_{Т.ном}}{u_{*к}}=\frac{100I_{Т.ном}}{u_к\%}$ $S_{к.з}=\frac{S_{Т.ном}}{u_{*к}}=\frac{100S_{Т.ном}}{u_к\%}$	$u_к$ — напряжение короткого замыкания в относительных единницах или процентах $I_{Т.ном}$, $S_{Т.ном}$ — номинальные ток и мощность трансформатора $I_{к.з}$, $S_{к.з}$ — ток и мощность короткого замыкания $x_р$ — сопротнвление реактора в относнтельных едиинцах или процентах $U_{р.ном}$, $I_{р.ном}$ — номинальные напряжения и ток реактора $U_{ср.ном}$ — среднее номинальное напряжение $r_л$, $x_л$ — омическое и индуктивное сопротивле" ния линни
За реактором		$I_{к.з}=\frac{I_{р.ном}}{x_{*р}}\cdot\frac{U_{ср.ном}}{U_{р.ном}}$ $I_{к.з}=\frac{100I_{р.ном}}{x_р\%}\cdot\frac{U_{ср.ном}}{U_{р.ном}}$	
На линии		$I_{к.з}=\frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3}\sqrt{x_л^2+r_л^2}}$ при $r_л<\frac{1}{3}x_л$ $I_{к.з}=\frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3}x_л}$	

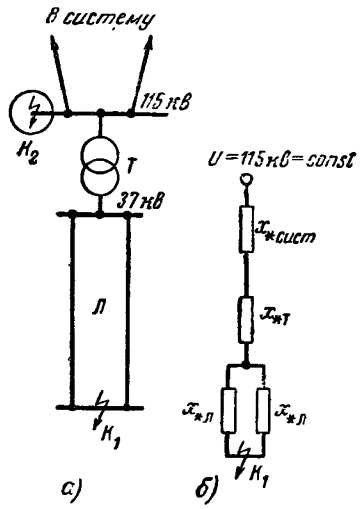


Рис. 1-7. Вычисление тока короткого замыкания при коротком замыкании в точке K_1 по заданному току или мощности короткого замыкания на шинах подстанции в (точке K_2). *а* — расчетная схема сети; *б* — эквивалентная расчетная схема.

$$x_{*рез} = x_{*сист} + x_{*Т} + \frac{x_{*л}}{2}.$$

Сверхпереходная э. д. с. определяется выражением

$$E'' = U_н + I_н x''_d \sin \varphi_н, \qquad (1\text{-}33)$$

где $U_н$, $I_н$, $\varphi_н$ — напряжение (фазовое), ток и угол сдвига между ними в режиме, предшествующем короткому замыканию.

Значения x''_d и E'' для практических расчетов

	x''_d	E''
Турбогенераторы	0,125	1,08
Гидрогенераторы с успокоительными обмотками	0,20	1,13
Гидрогенераторы без успокоительных обмоток	0,27	1,18
Синхронные компенсаторы	0,20	1,20
Синхронные электродвигатели	0,20	1,10
Асинхронные электродвигатели	0,20	0,90
Обобщенная нагрузка	0,35	0,80

3. Вычисляется начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания.

Параметры элементов системы выражены в именованных единицах:

$$I_{к.з.нач} = \frac{E''_{рез}}{x_{рез}}, \qquad (1\text{-}34)$$

где $E''_{рез}$, $x_{рез}$ — результирующие: фазная э. д. с., *кв*, и сопротивление, *ом*, приведенные к одной и той же ступени трансформации;

$I_{к.з.нач}$ — начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания.

Параметры элементов системы выражены в относительных единицах:

$$I_{к.з.нач} = \frac{E''_{*рез}}{x_{*рез}} I_{баз}, \qquad (1\text{-}35)$$

где $I_{баз}$ — базисный ток;

$E''_{*рез}$, $x_{*рез}$ — результирующие: фазная э. д. с. и сопротивление, выраженные в относительных единицах и отнесенные к одним и тем же базисным условиям.

д) Вычисление ударного тока короткого замыкания

Ударный ток короткого замыкания вычисляется по начальному значению периодической составляющей тока короткого замыкания по выражению

$$i_{к.з.уд} = k_{уд}\sqrt{2} I_{к.з.нач.ген} + \sqrt{2} I_{к.з.нач.нагр}, \qquad (1\text{-}36)$$

где $i_{к.з.уд}$ — максимальное мгновенное значение ударного тока короткого замыкания, *ка*;

$k_{уд}$ — ударный коэффициент;

$I_{к.з.нач.ген}$, $I_{к.з.нач.нагр}$ — начальные значения периодической составляющей тока короткого замыкания от генераторов и от нагрузки, включенной в месте короткого замыкания.

При отсутствии нагрузки в месте короткого замыкания второй член в (1-36) отсутствует.

Нагрузки, удаленные от места короткого замыкания, как генерирующие источники не учитываются.

Величина ударного коэффициента $k_{уд}$ зависит от постоянной времени затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания, которая определяется соотношением x/r — элементов электрической системы.

Среднее значение $k_{уд} \approx 1{,}8$.

При коротком замыкании непосредственно на шинах генераторного напряжения мощных генераторов $k_{уд} \approx 1{,}9$. При коротком замыкании в кабельных сетях или за трансформаторами малой мощности (1 000 *ква* и менее) $k_{уд} \approx 1{,}3$.

Составляющая ударного тока короткого замыкания от электродвигателей нагрузки принимается равной амплитуде начального значения периодической составляющей тока короткого замыкания вследствие весьма быстрого затухания апериодической составляющей.

е) Вычисление периодической составляющей тока короткого замыкания для любого момента времени методом кривых затухания

Кривые затухания представляют собой зависимость для различных моментов времени значения кратности тока короткого замыкания, отнесенной к суммарному номинальному току генераторов, питающих место короткого замыкания, от величины результирующего расчетного сопротивления.

Расчетные кривые представлены на рис. 1-8—1-10.

Расчет по общему затуханию

1. Составляется эквивалентная расчетная схема, в которую включаются все элементы электрической системы своими сопротивлениями положительной последовательности Источники питания (генераторы, синхронные компенсаторы и крупные электродвигатели) включаются своими сверхпереходными сопротивлениями x''_d.

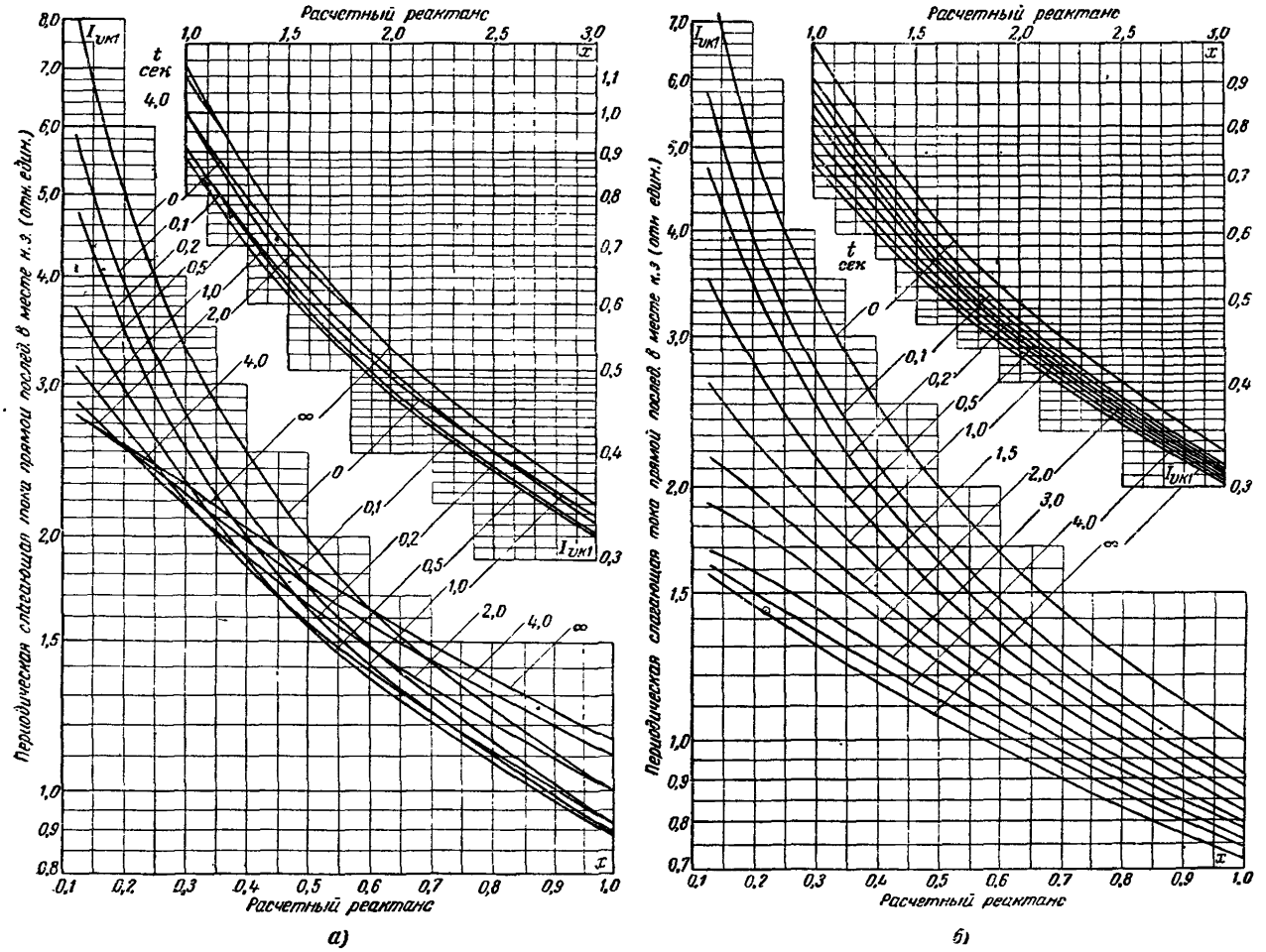


Рис. 1-8. Расчетные кривые затухания для типового турбогенератора.
а — с АРН; *б* — без АРН.

Нагрузки в расчетную схему не включаются, так как кривые затухания построены с учетом нагрузки.

Все сопротивления выражаются в относительных единицах и приводятся к базисным условиям (§ 1-4,б).

2. Определяется результирующее сопротивление схемы относительно места короткого замыкания. При этом начала генерирующих ветвей (источников питания) считаются точками равного потенциала и поэтому в процессе преобразования схемы к простейшему виду могут объединяться (рис. 1-11).

3. Определяется расчетное сопротивление

$$x_{*\text{расч}} = x_{*\text{рез.баз}} \frac{S_{\text{ном.сум}}}{S_{\text{баз}}}, \qquad (1\text{-}37)$$

где $x_{*\text{расч}}$ — расчетное сопротивление, отнесенное к суммарной мощности генераторов, питающих место короткого замыкания;

$x_{*\text{рез.баз}}$ — результирующее сопротивление эквивалентной расчетной схемы, отнесенное к базисной мощности;

$S_{\text{ном.сум}} = S_{\text{ном}1} + S_{\text{ном}2} + \ldots + S_{\text{ном}n}$ — суммарная номинальная мощность генераторов, питающих место короткого замыкания, *Мва*;

$S_{\text{баз}}$ — базисная мощность, *Мва*.

4. Определяются по кривым затухания значения кратности тока короткого замыкания $I_{*\text{к.з}}$ для интересующих моментов времени, соответствующие определенному выше по (1-37) расчетному сопротивлению.

В тех случаях, когда $x_{*\text{рез}} > 3$, кривыми затухания не пользуются, а кратность тока короткого замыкания считается неизменной для всех моментов времени и вычисляется по выражению

$$I_{*\text{к.з}} = \frac{1}{x_{*\text{расч}}} = \text{const}. \qquad (1\text{-}38)$$

5. Вычисляются искомые величины токов короткого замыкания:

$$I_{\text{к.з}} = I_{*\text{к.з}} I_{\text{ном.сум}}; \qquad (1\text{-}39$$

$$I_{\text{ном.сум}} = \frac{S_{\text{ном.сум}}}{\sqrt{3}\, U_{\text{ср.ном}}}, \qquad (1\text{-}40)$$

где $I_{\text{ном.сум}}$ — суммарный номинальный ток, отнесенный к среднему номинальному напряжению $U_{\text{ср.ном}}$, на той ступени трансформации, на которой находится место короткого замыкания.

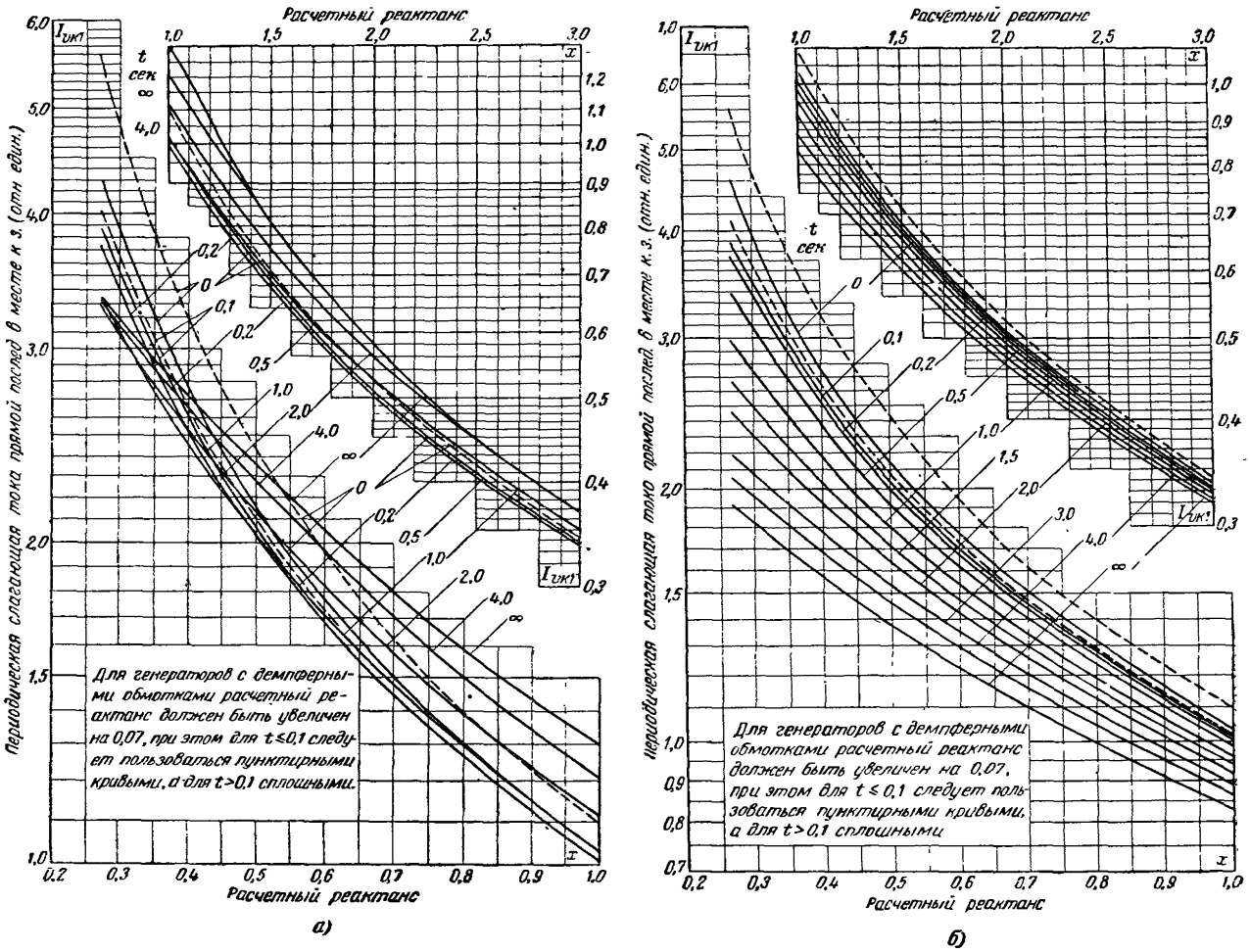


Рис. 1-9. Расчетные кривые затухания для типового гидрогенератора.
а — с АРН; *б* — без АРН.

Кривые затухания строятся по характеристикам типового турбогенератора (рис. 1-8,*а* и *б*) и гидрогенератора (рис. 1-9,*а* и *б*). Если в рассматриваемой электрической системе установлены турбогенераторы и гидрогенераторы, то расчет ведется по кривым затухания генераторов того типа, суммарная номинальная мощность которых преобладает.

В случаях, когда $x_{*расч} > 1$, можно пользоваться средними кривыми затухания (рис. 1-10,*а* и *б*).

Расчет по индивидуальному затуханию

В случаях, когда генерирующие источники находятся в резко отличных условиях относительно места короткого замыкания, расчет производится с учетом их индивидуального затухания. Для этого все источники питания распределяются на 2—3 группы. В одну группу выделяются источники питания, непосредственно связанные с местом короткого замыкания, в другую группу — источники питания, находящиеся примерно в одинаковых условиях относительно места короткого замыкания. Источники большой мощности (система) выделяются в самостоятельную генерирующую ветвь.

Расчет ведется в следующем порядке:

1. Составляется эквивалентная расчетная схема и аналогично предыдущему определяется результирующее сопротивление схемы относительно места короткого замыкания (рис. 1-11).

2. Определяются коэффициенты распределения, выражающие долю участия каждой группы источников питания в общем токе короткого замыкания, который принимается за единицу. Идя обратно от $x_{*рез}$ к его составляющим, определяется доля участия генерирующих ветвей. Так, например, из рис. 1-11,*г* следует:

для ветви генератора $Г_1$

$$C_{Г1} = \frac{x_{*рез}}{x_{*Г1}},$$

для второй ветви, включающей в себя остальную часть расчетной схемы,

$$C' = \frac{x_{*рез}}{x'_*}.$$

При этом $C_{Г1} + C' = 1$.

Далее из рис. 1-11,*в* следует, что коэффициент распределения для той части расчетной схемы, которая

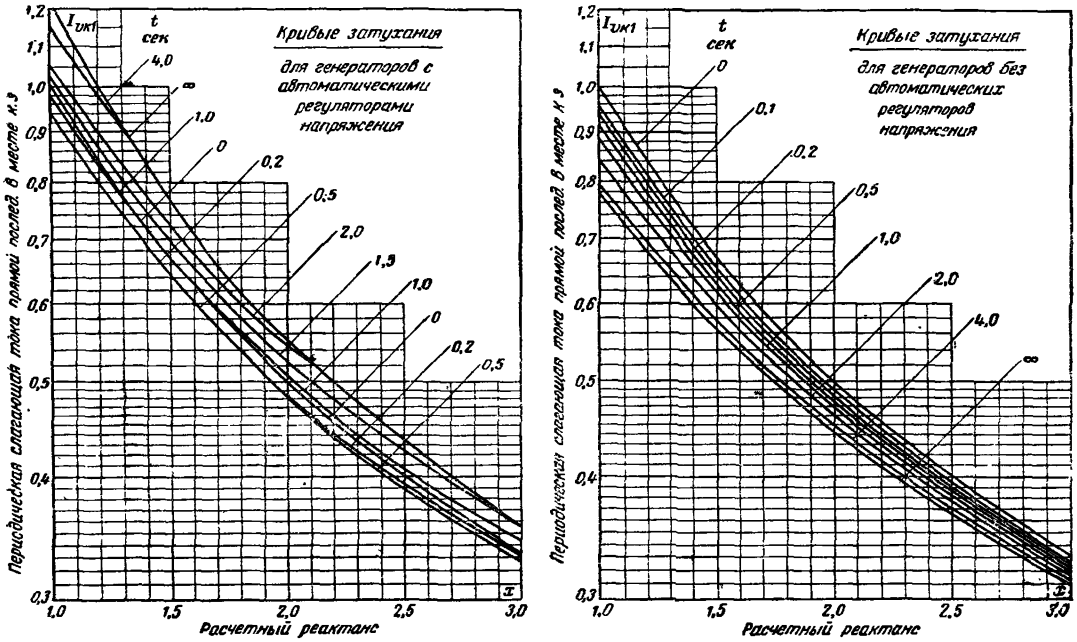


Рис. 1-10. Усредненные расчетные кривые затухания для генераторов.
а — с АРН; *б* — без АРН.

включает в себя систему и генератор $Г_2$, также составляет C', поскольку по сопротивлениям x', $x_р$ и x'' проходит один и тот же ток короткого замыкания.

Далее из рис. 1-11,*б* определяются коэффициенты распределения:

для ветви генератора $Г_2$

$$C_{Г2} = C' \frac{x''_*}{x_{*Г2}}$$

и для ветви системы

$$C_{сист} = C' \frac{x''_*}{x_{*сист} + x_{*Т}}.$$

При этом должно быть:

$$C_{Г2} + C_{сист} = C';$$

$$C_{Г1} + C_{Г2} + C_{сист} = 1.$$

3. Определяются по (1-41) расчетные сопротивления для каждой группы отдельно учитываемых источников питания, кроме ветви системы:

$$x_{*расч\,(I,\,II)} = \frac{x_{*рез.баз}}{C_{(I,\,II)}} \cdot \frac{S_{ном\,(I,\,II)}}{S_{баз}}, \qquad (1\text{-}41)$$

где $x_{*расч\,(I,\,II)}$ — расчетные сопротивления ветвей для I и II групп отдельно учитываемых источников питания соответственно ($Г_1$ и $Г_2$ на рис. 1-11);

$x_{*рез.баз}$ — результирующее сопротивление эквивалентной расчетной схемы;

$C_{(I,\,II)}$ — коэффициенты распределения для I и II групп соответственно;

$S_{ном\,(I,\,II)}$ — суммарные номинальные мощности источников питания, включенных в I и II группы соответственно, *Мва* (мощность генераторов $Г_1$ и $Г_2$ на рис. 1-11);

$S_{баз}$ — базисная мощность, *Мва*.

Для системы бесконечной мощности расчетное сопротивление определяется как

$$x_{*расч.сист} = \frac{x_{*рез.баз}}{C_{сист}}. \qquad (1\text{-}41а)$$

4. Определяются по кривым затухания значения кратностей тока короткого замыкания $I_{*к.з\,(I,\,II)}$ для

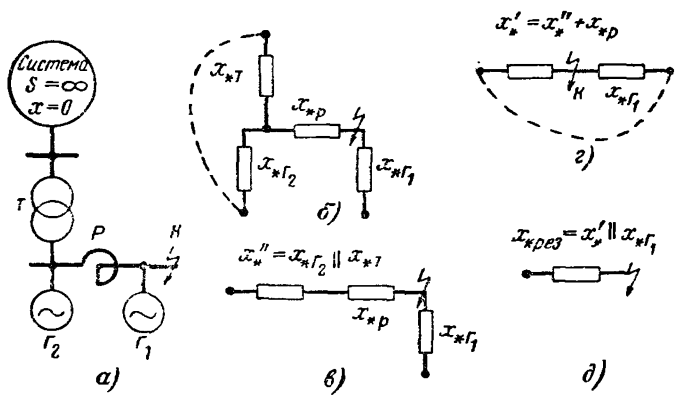


Рис. 1-11. Преобразование расчетной схемы для вычисления тока короткого замыкания методом кривых затухания.
а — расчетная схема; *б* — эквивалентная расчетная схема; *в*, *г* — этапы преобразования схемы к простейшему виду; *д* — эквивалентная расчетная схема, приведенная к простейшему виду.

интересующих моментов времени для каждой группы источников питания отдельно, соответствующие определенным выше (1-41) расчетным сопротивлениям.

5. Вычисляются величины токов короткого замыкания, подтекающие к месту короткого замыкания от каждой группы, как

$$I_{к.з\,(I,\,II)} = I_{*к.з\,(I,\,II)} I_{ном.сум\,(I,\,II)}, \qquad (1\text{-}42)$$

где $I_{к.з\,(I,\,II)}$ — ток короткого замыкания, подтекающий к месту короткого замыкания от I и II групп источников питания соответственно;

$I_{ном.сум\,(I,\,II)}$ — суммарный номинальный ток источников питания I и II групп соответственно.

Для ветви системы определяется начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания по (1-42а) или (1-42б) и считается неизменным для любого момента времени:

$$I_{к.з.сист} = \frac{I_{баз}}{x_{*расч.сист}} \qquad (1\text{-}42а)$$

или

$$I_{к.з.сист} = \frac{U_{ср.ном}}{\sqrt{3}x_{сист}} \qquad (1\text{-}42б)$$

6. Определяется суммарный ток короткого замыкания в месте короткого замыкания:

$$I_{к.з.сум} = I_{к.зI} + I_{к.зII} + I_{к.з.сист}. \qquad (1\text{-}43)$$

1-6. НЕСИММЕТРИЧНЫЕ КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ

а) Метод симметричных составляющих

При несимметричных коротких замыканиях в симметричной трехфазной электрической системе токи, протекающие в фазах, не равны друг другу. Поэтому система токов, а следовательно, и система напряжений становятся несимметричными.

По указанной причине вычисление токов или напряжений при несимметричных коротких замыканиях должно производиться для каждой фазы отдельно, что существенно усложняет задачу.

Для упрощения вычисления токов и напряжений при несимметричных коротких замыканиях используется *метод симметричных составляющих.*

Метод симметричных составляющих основан на том, что любая несимметричная система токов или напряжений трехфазной электрической системы может быть представлена как сумма трех симметричных систем — *симметричных составляющих,* имеющих определенные величины и ориентированных относительно друг друга определенным образом.

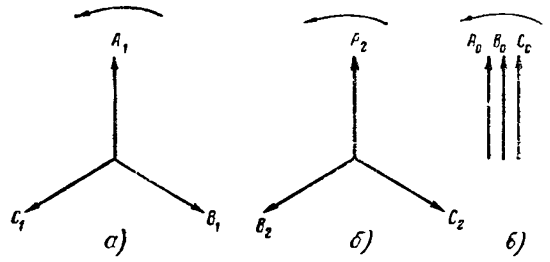


Рис. 1-12. Векторные диаграммы симметричных составляющих. *а* — прямая последовательность; *б* — обратиая последовательность; *в* — нулевая последовательность.

Симметричные составляющие отличаются друг от друга последовательностью чередования фаз:

1. **Система симметричиых составляющих прямой последовательности** (U_1, I_1) представляет собой симметричную трехфазную систему векторов, сдвинутых в пространстве на 120° относительно друг друга, вращающихся против часовой стрелки и имеющих при этом последовательность чередования фаз A_1, B_1, C_1 (рис. 1-12,*а*).

2. **Система симметричиых составляющих обратиой последовательности** (U_2, I_2) также представляет собой симметричную трехфазную систему векторов, сдвинутых в пространстве на 120° относительно друг друга, вращающихся против часовой стрелки, но имеющих при этом обратную (противоположную) последовательность чередования фаз A_2, C_2, B_2 (рис. 1-12,*б*).

3. **Система симметричных составляющих иулевой последовательиости** (U_0, I_0) состоит из трех вращающихся в том же направлении векторов, совпадающих по фазе друг с другом (рис. 1-12,*в*) и имеющих поэтому нулевую последовательность чередования фаз.

Пользуясь методом симметричных составляющих, можно рассматривать ток короткого замыкания, протекающий в фазе, как сумму токов симметричных составляющих.

Так как каждая из трех указанных выше систем симметрична, вычисление можно производить только для одной фазы, т. е. так же, как при вычислении токов трехфазного короткого замыкания.

б) Фазовый множитель (оператор) *a*

Для выражения векторов симметричных составляющих, расположенных друг относительно друга под углом 120°, применяется так называемый *фазовый множитель* или *оператор a:*

$$a = e^{+j120} = e^{-j240} = \cos 120° + j \sin 120° = \\ = -0{,}5 + j0{,}866. \qquad (1\text{-}44)$$

Умножение вектора на оператор *a* соответствует повороту его вперед (против часовой стрелки) на 120° или повороту назад (по часовой стрелке) на 240°. Умножение вектора на a^2 соответствует повороту его вперед на 240° или назад на 120°.

Таким образом, если вектор тока первой фазы I_A, то вектор тока второй фазы I_B, отстающий от вектора

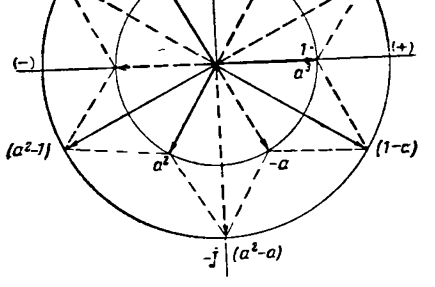


Рис. 1-13. Расположение в комплексиой плоскости единичного вектора при различиых операциях с оператором *a*.

I_A на 120°, можно выразить как $I_B = a^2 I_A$, а вектор тока третьей фазы I_C, опережающий вектор I_A на 120°,—как $I_C = aI_A$.

Значения оператора a при различных с ним операциях представлены в (1-45), а расположение единичного вектора в комплексной плоскости при этих операциях — на рис. 1-13:

$$\left.\begin{aligned} a^0 &= 1 = e^{j0} = 1{,}0 + j0;\\ a^3 &= a^0 = e^{j0} = 1{,}0 + j0;\\ a &= e^{j120} = -0{,}5 + j0{,}866;\\ a^4 &= e^{j480} = e^{j120} = a;\\ a^2 &= e^{j240} = -0{,}5 - j0{,}866;\\ a^5 &= e^{j600} = e^{j240} = a^2;\\ a^{3n+q} &= a^q;\ a^2 + a + 1 = 0;\\ a - a^2 &= \sqrt{3}e^{j90} = j\sqrt{3};\\ a^2 - a &= \sqrt{3}e^{-j90} = -j\sqrt{3};\\ 1 - a &= \sqrt{3}e^{-j30} = 1.5 - j0{,}866;\\ 1 - a^2 &= \sqrt{3}e^{j30} = 1{,}5 + j0{,}866. \end{aligned}\right\} \quad (1\text{-}45)$$

в) Выражение симметричных составляющих при помощи оператора a

Принимая фазу A за основную, можно при помощи оператора выразить токи и напряжения фаз B и C следующим образом:

Составляющие прямой последовательности

Ток		Напряжение	
I_{A1};		U_{A1};	
$I_{B1} = a^2 I_{A1}$;	(1-46)	$U_{B1} = a^2 U_{A1}$;	(1-47)
$I_{C1} = aI_{A1}$.		$U_{C1} = aU_{A1}$.	

Составляющие обратной последовательности

Ток		Напряжение	
I_{A2};		U_{A2};	
$I_{B2} = aI_{A2}$;	(1-48)	$U_{B2} = aU_{A2}$;	(1-49)
$I_{C2} = a^2 I_{A2}$.		$U_{C2} = a^2 U_{A2}$.	

Составляющие нулевой последовательности

Ток		Напряжение	
$I_{A0} = I_{B0} = I_{C0}$.	(1-50)	$U_{A0} = U_{B0} = U_{C0}$.	(1-51)

г) Соотношения между фазными токами и напряжениями и их симметричными составляющими

Вычисление фазных величин по известным симметричным составляющим и наоборот производится графически или аналитически согласно табл. 1-16.

На рис. 1-14 приведено графическое построение для определения симметричных составляющих прямой, обратной и нулевой последовательностей для фазы A по заданным векторам фазных токов (напряжений). Графическое построение для определения симметричных составляющих можно выполнить так же, как показано на рис. 1-15, на основании (1-52а)—(1-52в):

$$U_{A1} = \frac{1}{3}(U_{AB} + a^2 U_{CB}); \quad (1\text{-}52а)$$

$$U_{A2} = \frac{1}{3}(U_{AB} + aU_{CB}); \quad (1\text{-}52б)$$

$$U_{A0} = U_A + \frac{U_{BA} + U_{CA}}{3}. \quad (1\text{-}52в)$$

Таблица 1-16

Соотношение между фазными величинами токов и напряжений и их симметричными составляющими

Выражения фазных токов и напряжений через их симметричные составляющие	Выражения симметричных составляющих токов и напряжений через фазные величины
Фаза *A*	**Прямая последовательность**
$I_A = I_{A1} + I_{A2} + I_{A0}$	$I_{A1} = \frac{1}{3}(I_A + aI_B + a^2 I_C)$
$U_A = U_{A1} + U_{A2} + U_{A0}$	$U_{A1} = \frac{1}{3}(U_A + aU_B + a^2 U_C)$
Фаза *B*	**Обратная последовательность**
$I_B = I_{B1} + I_{B2} + I_{B0} = a^2 I_{A1} + aI_{A2} + I_{A0}$	$I_{A2} = \frac{1}{3}(I_A + a^2 I_B + aI_C)$
$U_B = U_{B1} + U_{B2} + U_{B0} = a^2 U_{A1} + aU_{A2} + U_{A0}$	$U_{A2} = \frac{1}{3}(U_A + a^2 U_B + aU_C)$
Фаза *C*	**Нулевая последовательность**
$I_C = I_{C1} + I_{C2} + I_{C0} = aI_{A1} + a^2 I_{A2} + I_{A0}$	$I_{A0} = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C)$
$U_C = U_{C1} + U_{C2} + U_{C0} = aU_{A1} + a^2 U_{A2} + U_{A0}$	$U_{A0} = \frac{1}{3}(U_A + U_B + U_C)$

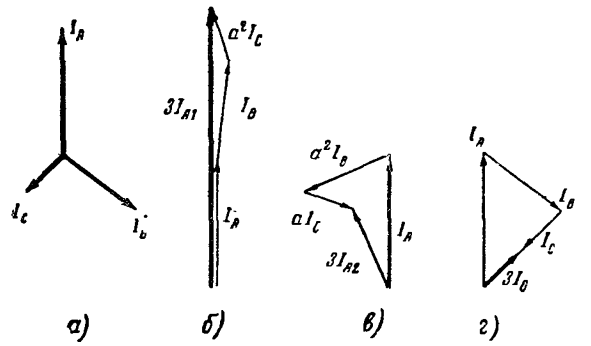


Рис. 1-14. Графическое определение симметричных составляющих токов по заданной несимметричной системе векторов полных фазных токов.

а — несимметричная система векторов; *б* — определение тока прямой последовательности I_{A1}; *в* — определение тока обратной последовательности I_{A2}; *г* — определение тока нулевой последовательности I_0.

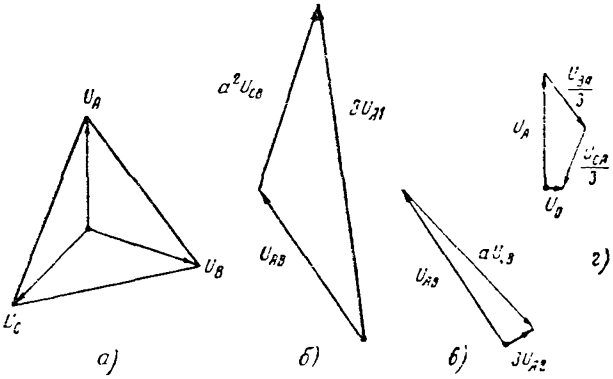


Рис. 1-15. Графическое определение симметричных составляющих напряжений по заданной несимметричной системе векторов напряжений.

а — несимметричная система векторов; *б* — определение напряжения прямой последовательности U_{A1}; *в* — определение напряжений обратной последовательности U_{A2}; *г* — определение напряжения нулевой последовательности U_0.

д) Эквивалентные расчетные схемы прямой, обратной и нулевой последовательностей

Расчетная схема прямой последовательности (рис. 1-16,*б*) составляется и приводится к простейшему виду в зависимости от метода расчета, так же как при вычислении токов трехфазного короткого замыкания.

При этом во всех случаях нельзя соединять концы ветвей нагрузок с местом короткого замыкания, так как к этой точке присоединяются сопротивления других последовательностей и, следовательно, напряжение в ней не равно нулю.

Расчетная схема обратной последовательности (рис. 1-16,*в*) состоит из тех же элементов, что и схема прямой последовательности, которые входят в нее своими сопротивлениями обратной последовательности. Электродвижущая сила обратной последовательности генераторов равна нулю. Схема приводится к простейшему виду. При этом начала генераторных ветвей объединяются с концами нагрузочных ветвей и образуют *начало схемы обратной последовательности, концом схемы является точка короткого замыкания.*

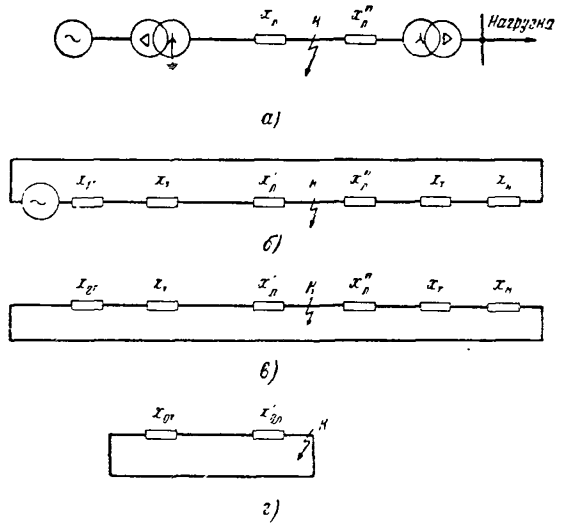


Рис. 1-16. Пример составления эквивалентных расчетных схем последовательностей.

а — схема сети; *б* — схема прямой последовательности; *в* — схема обратной последовательности; *г* — схема нулевой последовательности.

Поскольку для линий трансформаторов и реакторов $x_2 = x_1$, а у турбогенераторов и гидрогенераторов с успокоительными обмотками $x_2 \approx x''_d$, то при приблизительных ориентировочных расчетах расчетную схему обратной последовательности можно не составлять, а принимать

$$x_{2рез} = x_{1рез}.$$

Расчетная схема нулевой последовательности (рис. 1-16,*г*) составляется при расчете токов однофазных и двухфазных на землю коротких замыканий в электрической системе, имеющей хотя бы одну заземленную нейтраль обмотки трансформатора. Составление схемы нулевой последовательности целесообразно начинать с выявления замкнутых контуров, по которым могут проходить токи нулевой последовательности, при коротком замыкании в заданной точке.

После этого, начиная от точки короткого замыкания, составляется расчетная схема, в которую включаются своими сопротивлениями нулевой последовательности те элементы, которые обтекаются током нулевой последовательности.

При коротком замыкании на одной из параллельных линий необходимо учитывать взаимоиндукцию между ними, как показано на рис. 1-17.

Для расчета токов к. з. схема преобразуется и приводится к простейшему виду.

е) Основные правила вычисления токов несимметричных коротких замыканий

Вычисление токов (и напряжений) при несимметричных коротких замыканиях производится на основании следующих основных положений:

1. **Ток прямой последовательности в месте короткого замыкания при любом виде короткого замыкания** может определяться как ток трехфазного короткого замыкания по выражению

$$I_{1к.з} = \frac{E_{1рез}}{x_{1рез} + x_{доп}} \qquad (1\text{-}53)$$

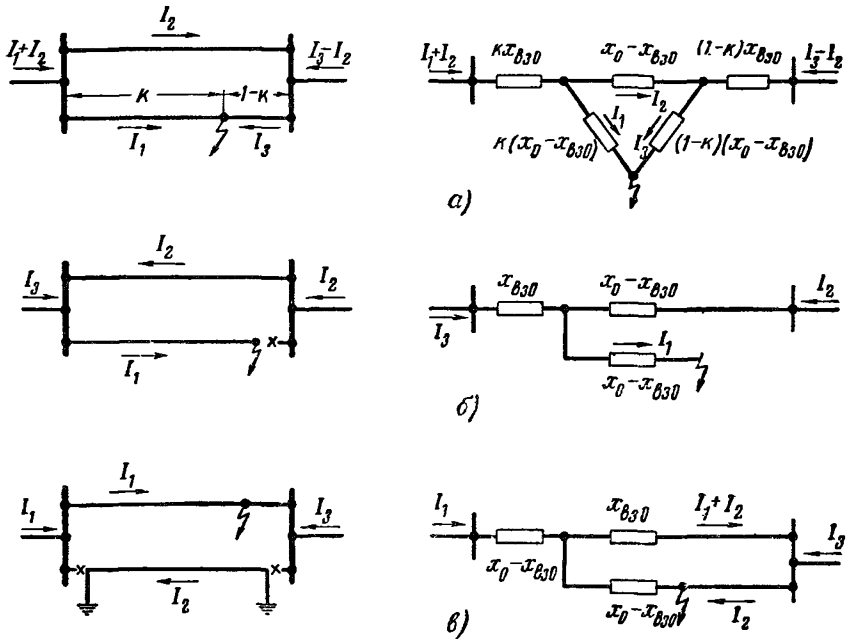


Рис. 1-17. Схемы замещения нулевой последовательности для параллельных линий.
а — при коротком замыкании на одной линии; *б* — при коротком замыкании на одной из линий, отключенной с одной стороны; *в* — при коротком замыкании на одной из линий в режиме, когда вторая линия отключена и заземлена с двух сторон.

или

$$I_{1к.з} = \frac{E_{1рез}}{x_{сум.рез}}, \qquad (1\text{-}53а)$$

где $I_{1к.з}$ — ток прямой последовательности в месте короткого замыкания;
$x_{1рез}$ — результирующее сопротивление прямой последовательности;
$x_{доп}$ — дополнительное сопротивление, величина которого определяется результирующими сопротивлениями обратной и нулевой последовательностей и видом короткого замыкания; величина $x_{доп}$ не зависит от момента времени и параметров схемы прямой последовательности;
$x_{сум.рез} = x_{1рез} + x_{доп}$ — суммарное результирующее сопротивление.

2. Абсолютная величина тока короткого замыкания в месте несимметричного короткого замыкания пропорциональна току прямой последовательности и может определяться как

$$I_{к.з} = m^{(n)} I_{1к.з}, \qquad (1\text{-}54)$$

где $m^{(n)}$ — коэффициент пропорциональности, зависящий от вида короткого замыкания.

Значения $x_{доп}$, $x_{сум.рез}$ и m для различных видов коротких замыканий даны в табл. 1-17.

Комплексные расчетные схемы и векторные диаграммы токов и напряжений для различных видов коротких замыканий приведены на рис. 1-18.

Таблица 1-17

Значение дополнительного и результирующего сопротивлений и коэффициента пропорциональности для различных видов коротких замыканий

Вид короткого замыкания	$x_{доп}$	$x_{сум.рез} = x_{1рез} + x_{доп}$	$m^{(n)}$
Трехфазное	0	$x_{1рез}$	1
Двухфазное	$x_{2рез}$	$x_{1рез} + x_{2рез}$	$\sqrt{3}$
Однофазное	$x_{2рез} + x_{0рез}$	$x_{1рез} + x_{2рез} + x_{0рез}$	3
Двухфазное на землю	$\frac{x_{2рез}x_{0рез}}{x_{2рез} + x_{0рез}}$	$x_{1рез} + \frac{x_{2рез}x_{0рез}}{x_{2рез} + x_{0рез}}$	$\sqrt{3}\sqrt{1 - \frac{x_{2рез} \cdot x_{0рез}}{(x_{2рез} + x_{0рез})^2}}$

Рис. 1-18. Расчетные схемы и векторные диаграммы токов и напряжений для различных видов коротких замыканий.
а — трехфазное; *б* — двухфазное; *в* — двухфазное на землю; *г* — однофазное.

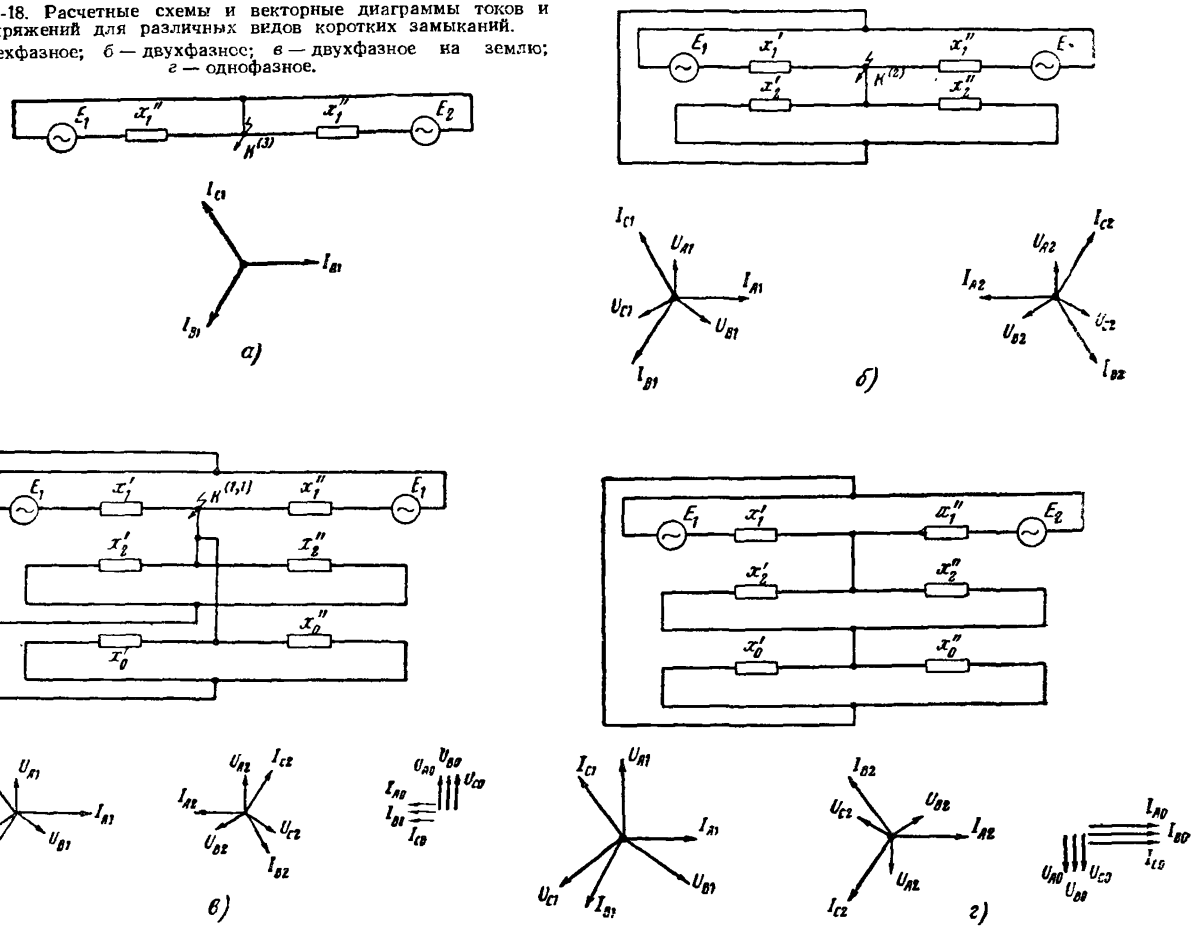


Таблица 1-18

Аналитические выражения для определения полных токов и токов обратной и нулевой последовательностей в месте короткого замыкания по известному току прямой последовательности

Вычисляемые токи в месте короткого замыкания	Выражения для вычисления токов		
	Однофазное короткое замыкание на фазе A	Двухфазное короткое замыкание между фазами B и C	Двухфазное короткое замыкание на землю между фазами B и C
Токи обратной последовательности фазы A	$I_{A2}^{(1)} = I_{A1}^{(1)}$	$I_{A2}^{(2)} = -I_{A1}^{(2)}$	$I_{A2}^{(1,1)} = -I_{A1}^{(1,1)} \frac{x_{0рез}}{x_{2рез} + x_{0рез}}$
Токи нулевой последовательности	$I_0^{(1)} = I_{A1}^{(1)}$	$I_0^{(2)} = 0$	$I_0^{(1,1)} = -I_{A1}^{(1,1)} \frac{x_{2рез}}{x_{2рез} + x_{0рез}}$
Полные токи в фазах:			
A	$I_A^{(1)} = 3I_{A1}^{(1)}$	$I_A^{(2)} = 0$	$I_A^{(1,1)} = 0$
B	$I_B^{(1)} = 0$	$I_B^{(2)} = -j\sqrt{3}I_{A1}^{(2)}$	$I_B^{(1,1)} = I_{A1}^{(1,1)}\left(a^2 - \frac{x_{2рез} + ax_{0рез}}{x_{2рез} + x_{0рез}}\right)$
C	$I_C^{(1)} = 0$	$I_C^{(2)} = j\sqrt{3}I_{A1}^{(2)}$	$I_C^{(1,1)} = I_{A1}^{(1,1)}\left(a - \frac{x_{2рез} + a^2x_{0рез}}{x_{2рез} + x_{0рез}}\right)$

Вычисление полных токов и токов обратной и нулевой последовательностей в месте короткого замыкания по известному току прямой последовательности производится по выражениям табл. 1-18.

ж) Вычисление токов в месте короткого замыкания при несимметричных коротких замыканиях при питании от системы

1. Составляются эквивалентные расчетные схемы для каждой последовательности, и определяются их результирующие сопротивления: при вычислении токов однофазных и двухфазных на землю коротких замыканий $x_{1рез}$, $x_{2рез}$, $x_{0рез}$; при вычислении токов двухфазных коротких замыканий (без земли) $x_{1рез}$, $x_{2рез}$. При питании от системы бесконечной мощности (рис. 1-6,*б*) принимается:

$$x_{1сист} = x_{2сист} = x_{0сист} = 0.$$

При питании от мощной системы и заданном токе или мощности короткого замыкания на шинах подстанции (рис. 1-7,*б*) определяются сопротивления системы.

Сопротивление $x_{1сист}$ определяется по (1-31), (1-31а), (1-32), (1-32а) и (1-32б) по заданному току или мощности трехфазного короткого замыкания.

Сопротивление $x_{2сист}$ принимается равным $x_{1сист}$, т. е. $x_{2сист} = x_{1сист}$.

Сопротивление $x_{0сист}$ определяется по заданному току или мощности однофазного короткого замыкания. По (1-31), (1-31а), (1-32), (1-32а) и (1-32б) определяется суммарное сопротивление системы при однофазном коротком замыкании $x^{(1)}_{сист}$, которое равно:

$$x^{(1)}_{сист} = \frac{x_{1сист} + x_{2сист} + x_{0сист}}{3}.$$

Определяется сопротивление $x_{0сист}$:

$$x_{0\,сист} = 3x^{(1)}_{сист} - (x_{1\,сист} + x_{2\,сист}) \qquad (1\text{-}55)$$

или

$$x_{0\,сист} = 3x^{(1)}_{сист} - 2x_{1\,сист}. \qquad (1\text{-}55а)$$

2. Определяется суммарное результирующее сопротивление для данного вида короткого замыкания $x_{сум.рез}$ согласно табл. 1-18.

3. Вычисляется ток прямой последовательности I_1 по (1-29), (1-30), (1-30а), где вместо $x_{рез}$ и $x_{*рез.баз}$ подставляются соответственно $x_{сум.рез}$ и $x_{*сум.рез}$.

4. Определяются токи обратной и нулевой последовательностей и полные токи в поврежденных фазах в месте короткого замыкания согласно табл. 1-18.

з) Вычисление начального значения периодической составляющей тока в месте короткого замыкания при питании от генераторов

1. Составляются эквивалентные расчетные схемы для каждой последовательности.

В схему прямой последовательности генераторы включаются своими сверхпереходными сопротивлениями x''_d и сверхпереходной э. д. с. E'', определяемой по (1-33) или по данным § 1-5,г.

2. Определяются результирующие сопротивления и э. д. с. прямой последовательности по (1-27) и (1-28).

3. Определяются результирующие сопротивления обратной и нулевой последовательностей.

4. Определяется суммарное результирующее сопротивление для данного вида короткого замыкания $x_{сум.рез}$ по табл. 1-17.

5. Вычисляется ток прямой последовательности I_1 по формулам (1-34) и (1-35), в которые вместо $x_{рез}$ и $x_{*рез.баз}$ подставляется соответственно $x_{сум.рез}$ или $x_{*сум.рез.баз}$.

6. Определяются токи обратной и нулевой последовательностей и полные токи в поврежденных фазах в месте короткого замыкания согласно табл. 1-18.

и) Вычисление периодической составляющей тока в месте короткого замыкания для любого момента времени методом кривых затухания

1. Составляются эквивалентные расчетные схемы для каждой последовательности, в которых все сопротивления выражаются в относительных единицах и приводятся к базисным условиям. В схему прямой последовательности генераторы включаются своими сверхпереходными сопротивлениями x''_d.

2. Определяются результирующие сопротивления каждой последовательности и суммарное результирующее сопротивление $x_{*сум.рез.баз}$ для данного вида короткого замыкания согласно табл. 1-17.

3. Определяется расчетное сопротивление $x_{*расч}$, отнесенное к суммарной номинальной мощности источников питания по (1-37), где вместо $x_{*рез.баз}$ подставляется определенное выше $x_{*сум.рез.баз}$.

4. При расчете по общему затуханию определяется по кривым затухания (рис. 1-8—1-10) или по (1-38) кратности тока прямой последовательности I_{*1} для интересующих моментов времени, соответствующих $x_{*расч}$.

5. Определяется ток прямой последовательности по (1-39) и (1-40), а по нему — токи обратной и нулевой последовательностей и полные токи в поврежденных фазах в месте короткого замыкания согласно табл. 1-18.

6. При расчете по индивидуальному затуханию определяются коэффициенты распределения в схеме прямой последовательности, как для трехфазного короткого замыкания (§ 1-5,е).

7. Определяются расчетные сопротивления $x_{*расч\,(I,\,II,\,III)}$ для каждой группы отдельно учитываемых источников питания по (1-39), в которую вместо $x_{*рез.баз}$ подставляется определенное выше $x_{*сум.рез.баз}$ (п. 2).

8. Определяются по кривым затухания (рис. 1-8—1-10) или по (1-38) кратности токов прямой последовательности для интересующих моментов времени $I_{*1\,(I,\,II,\,III)}$, соответствующие сопротивлениям $x_{*расч\,(I,\,II,\,III)}$.

9. Вычисляются токи прямой последовательности от каждой группы источников питания по (1-42) и суммарный ток прямой последовательности в месте короткого замыкания по (1-43).

10. Определяются токи обратной и нулевой последовательностей и полные токи в поврежденных фазах в месте короткого замыкания согласно табл. 1-18.

к) Вычисление токов короткого замыкания в отдельных ветвях схемы

Для определения полного тока короткого замыкания в любой ветви схемы необходимо вначале определить токи прямой, обратной и нулевой последовательностей,

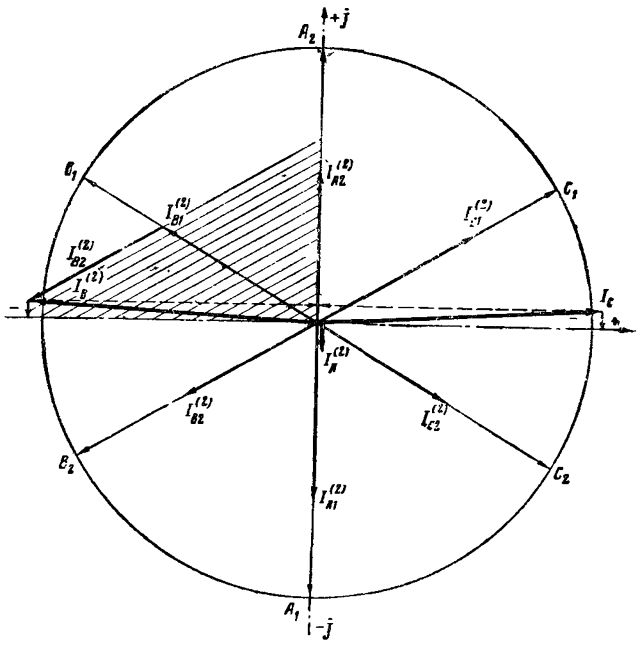


Рис. 1-19. Номограмма для определения полных токов в фазах по их симметричным составляющим при двухфазном коротком замыкании.

проходящие по этой ветви, в эквивалентных схемах соответствующих последовательностей.

Затем полученные токи суммируются аналитически по (1-54) и табл. 1-18 или графически.

Токи прямой, обратной и нулевой последовательностей в ветвях вычисляются путем распределения тока, протекающего в месте короткого замыкания, по интересующим элементам эквивалентной схемы каждой последовательности.

В схеме прямой последовательности распределение тока в месте короткого замыкания производится с учетом того, что *напряжение прямой последовательности в месте короткого замыкания не равно нулю.*

Напряжение прямой последовательности U_{A1K} в месте короткого замыкания определяется согласно табл. 1-19, после чего в ветвях, содержащих э. д. с., вычисляется ток:

$$I_{1An} = \frac{E_{1An} - U_{A1K}}{x_{1n}}, \qquad (1\text{-}56)$$

где E_{An}, I_{An} — э. д. с. и ток прямой последовательности в ветви, сопротивление которой равно x_{1n}.

Далее при постепенном развертывании схемы вычисляются токи в ветвях обычным способом согласно табл. 1-14.

В схемах обратной и нулевой последовательностей, в которых отсутствует э. д. с., распределение токов в месте короткого замыкания производится согласно табл. 1-14 или по выражениям:

$$I_{2An} = \frac{0 - U_{A2K}}{x_{2n}} \text{ и } I_{0n} = \frac{0 - U_{0K}}{x_{0n}}, \qquad (1\text{-}57)$$

где U_{A2K} и U_{0K} — напряжения в месте короткого замыкания, определяемые согласно табл. 1-20;

I_{2An} и I_{0n} — токи обратной и нулевой последовательностей в ветвях сопротивлений соответственно x_{2n} и x_{0n}.

Для определения полных токов по их симметричным составляющим удобно пользоваться номограммой, приведенной на рис. 1-19 и 1-20.

Величины симметричных составляющих откладываются на номограмме в масштабе по трем осям, расположенным друг относительно друга под углом 120°.

Для удобства суммирования составляющих прямой и обратной последовательностей параллельно оси B_2 нанесены масштабные линии, на которых откладываются соответствующие векторы. Вещественная и мнимая составляющие результирующего вектора определяются как проекции на взаимно перпендикулярные оси вещественных и мнимых величин.

Примеры: 1. Определить токи в фазах при двухфазном коротком замыкании $B—C$, если известны токи прямой и обратной последовательностей:

$$I^{(2)}_{A1} = 60\ a;\quad I^{(2)}_{A2} = 51\ a.$$

1) На номограмме (рис. 1-19), откладываются в масштабе заданные векторы токов прямой и обратной последовательностей I_{A1} — по оси A_1 и I_{A2} — по оси A_2.

2) Симметрично к ним откладываются по осям B_1, C_1 и B_2, C_2 токи прямой и обратной последовательностей: I_{B1}, I_{C1}, I_{B2}, I_{C2}.

3) Определяется из номограммы полный ток в фазе A как геометрическая сумма токов $\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2}$.

$$I_A = 9\ a.$$

4) Определяется из номограммы полный ток в фазе B, путем геометрического сложения векторов тока I_{B1} и I_{B2}. Для этого к концу вектора I_{B1} прикладывается параллельно оси B_2 отрезок, равный $I_{B2} = 51\ a$. Соединением конца вектора I_{B2} с началом координат определяется вектор I_B. Абсолютная величина тока I_B определяется измерением по номограмме и составляет 96 a. При необходимости мнимая и вещественная составляющие тока I_B определяются проекциями вектора I_B на вещественную и мнимую оси: $\dot{I}_B = (-95 + j4{,}5)\ a$.

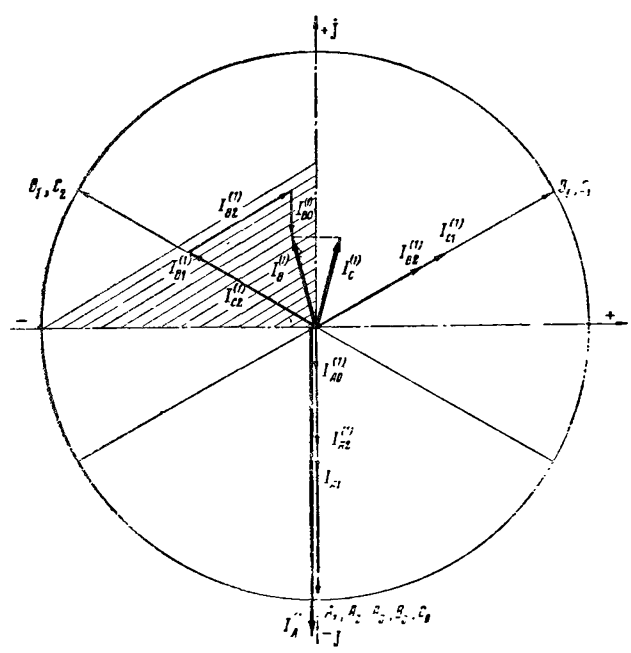


Рис 1-20. Номограмма для определения полных токов в фазах по их симметричным составляющим при однофазном коротком замыкании.

5) Определяется ток фазы C—$\dot{I}_C$. При этом можно не производить геометрического суммирования $\dot{I}_{C1}$ и $\dot{I}_{C2}$, а определить $\dot{I}_C$ как вектор, равный по величине $\dot{I}_B$ и расположенный симметрично с ним относительно оси мнимых величин:

$$\dot{I}_C = (+95 + j4{,}5)\ a;$$
$$|\dot{I}_C| = 96\ a.$$

2. Определить токи при однофазном коротком замыкании на фазе A, если известны токи прямой, обратной и нулевой последовательностей:

$$I_{A1}^{(1)} = 50\ a;\quad I_{A2}^{(1)} = 41\ a;\quad I_{A0}^{(1)} = 14\ a.$$

1) Откладываются на номограмме (рис. 1-20) по оси A_1, A_2, A_0 токи I_{A1}, I_{A2}, I_{A0}.

2) Симметрично к ним откладываются по осям B_1, B_2 и C_1, C_2 токи I_{B1}, I_{B2}, I_{C1}, I_{C2}.

3) Определяется из номограммы модуль полного тока в фазе A как сумма токов прямой, обратной и нулевой последовательностей:

$$I_A^{(1)} = I_{A1} + I_{A2} + I_{A0};$$
$$I_A^{(1)} = 105\ a.$$

Так как вектор полного тока фазы A расположен по оси мнимых величин, то его векторное выражение имеет вид:

$$\dot{I}_A^{(1)} = -j105\ a.$$

4) Определяется ток в фазе B путем геометрического сложения токов прямой, обратной и нулевой последовательностей (рис. 1-20). Для этого к концу вектора $\dot{I}_{B1}$ прикладывается параллельно оси B_2 отрезок, равный I_{B2}, и к концу вектора $\dot{I}_{B2}$ параллельно оси B_0—отрезок, равный I_0. Соединением конца вектора I_0 с началом координат определяется вектор тока $\dot{I}_B$.

Абсолютная величина тока I_B определяется измерением по номограмме и составляет 31 a. Мнимая и вещественная составляющие тока $\dot{I}_B$ определяются проекциями вектора $\dot{I}_B$ на оси вещественных и мнимых величин:

$$\dot{I}_B = (-10 + j33)\ a.$$

5) Определяется ток фазы C—$\dot{I}_C$, вектор которого расположен симметрично с вектором $\dot{I}_B$ относительно оси мнимых величин:

$$\dot{I}_C = (10 + j33)\ a;$$
$$I_C = 31\ a.$$

Аналогично рассмотренному выше могут быть выполнены построения для определения токов, проходящих в фазах при других видах коротких замыканий.

л) Вычисление напряжений в различных точках схемы

Для определения фазных напряжений в любой точке схемы необходимо вначале определить напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей для этой точки в эквивалентных схемах соответствующих последовательностей.

Затем полученные напряжения суммируются аналитически согласно табл. 1-16 или графически.

Напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей в интересующей точке вычисляются как сумма напряжений соответствующих последовательностей в месте короткого замыкания, определяемых согласно табл. 1-19, и падений напряжения в сопротивлениях между местом короткого замыкания и интересующей точкой схемы, т. е.

$$\left.\begin{aligned} \dot{U}_{1n} &= \dot{U}_{1K} + j\dot{I}_{1Kn}x_{1Kn};\\ \dot{U}_{2n} &= \dot{U}_{2K} + j\dot{I}_{2Kn}x_{2Kn};\\ \dot{U}_{0n} &= \dot{U}_{0K} + j\dot{I}_{0Kn}x_{0Kn}, \end{aligned}\right\} \qquad (1\text{-}58)$$

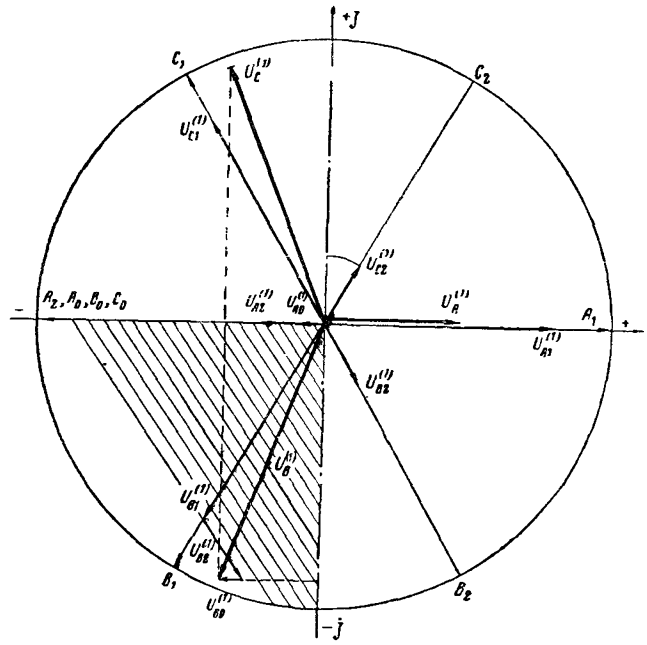


Рис. 1-21. Номограмма для определения фазных напряжений по их симметричным составляющим при однофазном коротком замыкании.

где U_{1n}, U_{2n}, U_{0n} — напряжения последовательностей в точке n;

U_{1K}, U_{2K}, U_{0K} — напряжения последовательностей в месте короткого замыкания;

I_{1Kn}, I_{2Kn}, I_{0Kn} — токи последовательностей, проходящие по сопротивлениям x_{1Kn}, x_{2Kn}, x_{0Kn} между местом короткого замыкания и точкой n.

Суммирование симметричных составляющих напряжений может производиться с помощью номограммы рис. 1-21.

Пример: Определить по номограмме напряжение при однофазном коротком замыкании на фазе A, если известны напряжения симметричных составляющих:

$$U_{A1}^{(1)} = 76\ кв;\quad U_{A2}^{(1)} = 23\ кв;\quad U_{A0}^{(1)} = 8\ кв.$$

1) Откладываются на номограмме (рис. 1-21) по осям A_1, A_2, A_0 векторы напряжений U_{A1}, U_{A2}, U_{A0}.

2) Симметрично к ним откладываются по осям B_1, B_2 и C_1, C_2 напряжения U_{B1}, U_{B2}, U_{C1}, U_{C2}.

3) Определяется из номограммы напряжение фазы A как геометрическая сумма:

$$U_A = U_{A1} + U_{A2} + U_{A0};$$
$$U_A = 45\ кв.$$

4) Определяется напряжение фазы B путем геометрического сложения напряжений U_{B1}, U_{B2}, U_{B0}. Для этого к концу вектора U_{B1} прикладывается параллельно оси B_2 отрезок, равный U_{B2}, и к концу вектора U_{B2} параллельно оси A_0—отрезок, равный U_0. Соединением конца вектора U_0 с началом координат определяется вектор напряжения U_B. Абсолютная величина напряжения U_B определяется измерением по номограмме и составляет 91 $кв$. Мнимая и вещественная составляющие напряжения U_B определяются проекциями вектора U_B на оси вещественных и мнимых величин:

$$\dot{U}_B = -33 - j86{,}5\ кв.$$

Таблица 1-19

Аналитические выражения для вычисления напряжений в месте короткого замыкания при различных видах несимметричных коротких замыканий

Вычисляемое напряжение в месте короткого замыкания	Выражения для вычисления напряжений		
	Однофазное короткое замыкание на фазе *A*	Двухфазное короткое замыкание между фазами *BC*	Двухфазное на землю короткое замыкание между фазами *BC*
Напряжение прямой последовательности	$U_{A1}^{(1)} = jI_{A1}^{(1)}(x_{2рез} + x_{0рез})$	$U_{A1}^{(2)} = jI_{A1}^{(2)}x_{2рез}$	$U_{A1}^{(1,\,1)} = jI_{A1}^{(1,\,1)}\left(\frac{x_{2рез}x_{0рез}}{x_{2рез} + x_{0рез}}\right)$
Напряжение обратной последовательности	$U_{A2}^{(1)} = -jI_{A2}^{(1)}x_{2рез}$ $U_{A2}^{(1)} = +jI_{A1}^{(1)}x_{2рез}$	$U_{A2}^{(2)} = -jI_{A2}^{(2)}x_{2рез}$ $U_{A2}^{(2)} = +jI_{A1}^{(2)}x_{2рез}$	$U_{A2}^{(1,\,1)} = -jI_{A2}^{(1,\,1)}x_{2рез}$ $U_{A1}^{(1,\,1)} = jI_{A1}^{(1,\,1)}\left(\frac{x_{2рез}x_{0рез}}{x_{2рез} + x_{0рез}}\right)$
Напряжение нулевой последовательности	$U_0^{(1)} = -jI_{A0}^{(1)}x_{0рез}$ $U_0^{(1)} = +jI_{A1}^{(1)}x_{0рез}$	$U_0^{(2)} = 0$	$U_0^{(1,\,1)} = -jI_0^{(1,\,1)}x_{0рез}$ $U_0^{(1,\,1)} = jI_{A1}\left(\frac{x_{2рез}x_{0рез}}{x_{2рез} + x_{0рез}}\right)$
Фазные напряжения:			
A	$U_A^{(1)} = 0$	$U_A^{(2)} = 2jI_{A1}^{(2)}x_{рез}$	$U_A^{(1,\,1)} = 3jI_A^{(1,\,1)}\left(\frac{x_{2рез}x_{0рез}}{x_{2рез} + x_{0рез}}\right)$
B	$U_B^{(1)} = jI_{A1}^{(1)}[(a^2 - a)x_{2рез} + (a^2 - 1)x_{0рез}]$	$U_B^{(2)} = -jI_{A1}^{(2)}x_{2рез}$	$U_B^{(1,\,1)} = 0$
C	$U_C^{(1)} = jI_{A1}^{(1)}[(a - a^2)x_{2рез} + (a - 1)x_{0рез}]$	$U_C^{(2)} = -jI_{A1}^{(2)}x_{2рез}$	$U_C^{(1,\,1)} = 0$

5. Определяется напряжение фазы C—U_C как вектор, равный вектору U_B и расположенный симметрично с ним относительно оси вещественных величин:

$$\dot{U}_C = (-33 + j86{,}5)\ кв;$$
$$U_C = 91\ кв.$$

Номограммы (рис. 1-19—1-21) обычно используются совместно для определения токов и напряжений при условии, что в расчетах учитываются только реактивные сопротивления и, следовательно, угол между токами и соответствующими напряжениями составляет 90°. Если же в расчетах будет учитываться активное сопротивление, необходимо принять другое взаимное расположение осей номограмм токов и напряжений.

м) Трансформация симметричных составляющих

При переходе через трансформатор симметричных составляющих токов и напряжений изменяется не только их величина, но и фаза, которая зависит от группы соединения обмоток трансформатора.

Для составляющих прямой последовательности при переходе через трансформатор (от звезды к треугольнику) происходит поворот вектора на угол e^{-j30N}, а для составляющих обратной последовательности — на угол e^{j30N}, где N — номер группы соединения трансформатора.

При обратном переходе происходит обратное изменение угла.

На рис. 1-22, 1-24 и 1-26 приведены векторные диаграммы составляющих прямой и обратной последовательностей, а также полных токов и напряжений при несимметричных коротких замыканиях для трансформатора с соединением обмоток звезда-треугольник-11.

Практическое определение токов и напряжений на стороне звезды при двухфазном коротком замыкании на стороне треугольника трансформатора с соединением обмоток звезда-треугольник-11 может быть выполнено с помощью номограммы, приведенной на рис. 1-23.

Определение токов и напряжений на стороне звезды при двухфазном коротком замыкании B—C на стороне треугольника производится в следующей последовательности:

1. Откладываются токи прямой и обратной последовательностей фазы C—I_{C1}, I_{C2} в положительном направлении по оси вещественных величин и определяется полный ток фазы C:

$$I_C = I_{C1} + I_{C2}.$$

2. По оси MN откладывается вектор тока прямой последовательности фазы B—I_{B1}, и к его концу прикладывается вектор тока обратной последовательности I_{B2}. Соединением конца вектора I_{B2} с началом координат определяется полный ток фазы B—I_B.

3. Определяется вектор тока фазы A, равный по величине I_B и расположенный симметрично ему относительно оси вещественных величин.

4. Откладываются векторы напряжений прямой и обратной последовательностей фазы C—U_{C1} и U_{C2} по

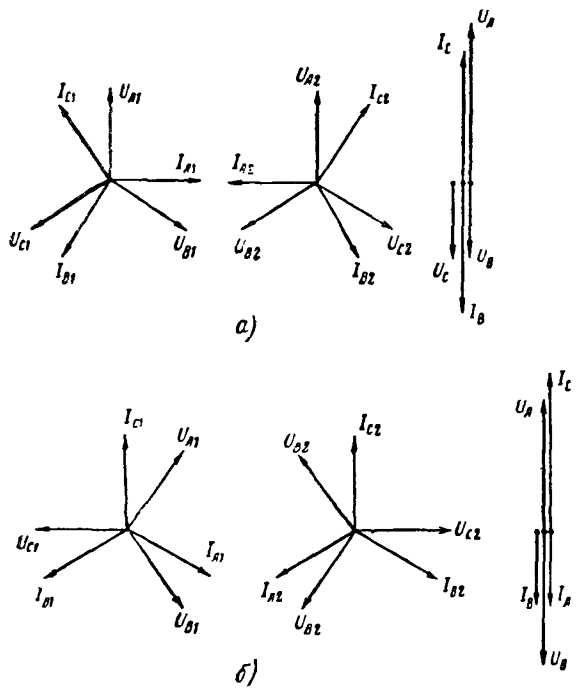


Рис. 1-22. Векторные диаграммы симметричных составляющих при переходе через трансформатор с соединением обмоток: звезда-треугольник-11 для случая двухфазного короткого замыкания на стороне треугольника.
а — сторона треугольника; *б* — сторона звезды.

оси мнимых величин с учетом того, что U_{C1} опережает I_{C1} на 90°, а U_{C2} отстает от I_{C2} на 90°. Определяется напряжение фазы C, равное

$$U_C = U_{C1} + U_{C2}.$$

5. По оси OK откладывается вектор напряжения прямой последовательности фазы A — U_{A1}, и к его концу прикладывается вектор напряжения обратной последовательности U_{A2}. Соединением конца вектора U_{A2} с началом координат определяется полное фазовое напряжение U_A.

6. Определяется вектор напряжения фазы B—U_B, равный по величине U_A и расположенный симметрично ему относительно оси мнимых величин.

На рис. 1-24 и 1-26 приведены векторные диаграммы токов и напряжений на стороне звезды и треугольника трансформатора с соединением обмоток звезда-треугольник-11 при однофазном и двухфазном коротких замыканиях на стороне звезды.

На рис. 1-25 приведены номограммы для определения токов и напряжений на стороне треугольника при однофазном и двухфазном коротких замыканиях на стороне звезды.

При двухфазном коротком замыкании между фазами B—C построение производится в следующей последовательности (рис. 1-25,*а*):

1. Откладываются векторы токов прямой и обратной последовательностей фазы B—I_{B1} и I_{B2} по оси вещественных величин в отрицательном направлении и определяется полный ток фазы B:

$$I_B = I_{B1} + I_{B2}.$$

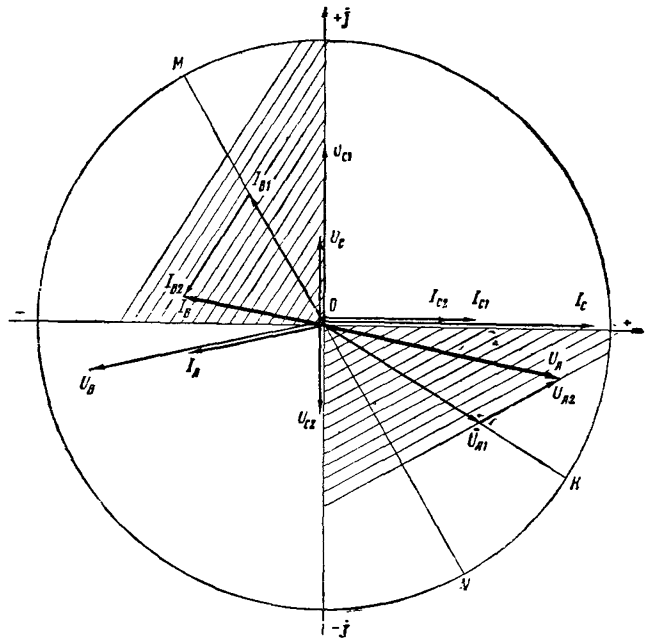


Рис. 1-23. Номограммы для определения полных токов в фазах и фазных напряжений на стороне звезды при двухфазном коротком замыкании на стороне треугольника трансформатора, соединенного по схеме звезда-треугольник-11.

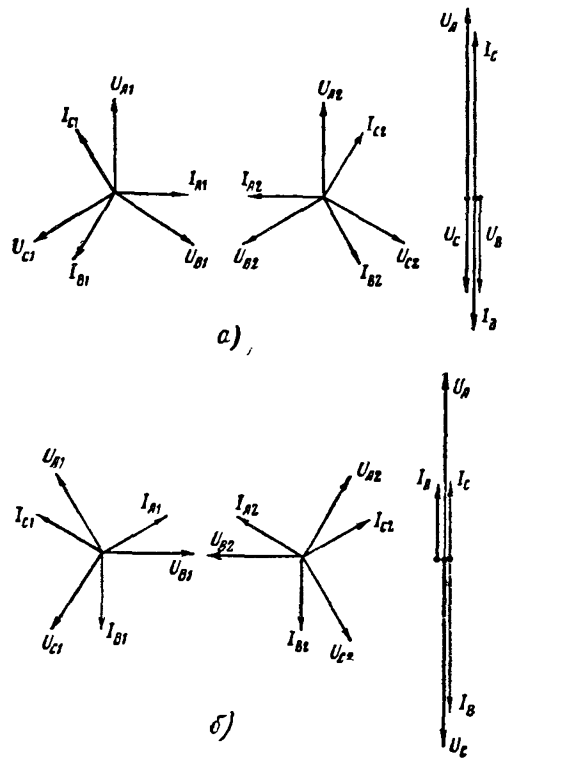


Рис. 1-24. Векторные диаграммы симметричных составляющих при переходе через трансформатор с соединением обмоток звезда-треугольник-11 для случая двухфазного короткого замыкания на стороне звезды.
а — сторона звезды; *б* — сторона треугольника.

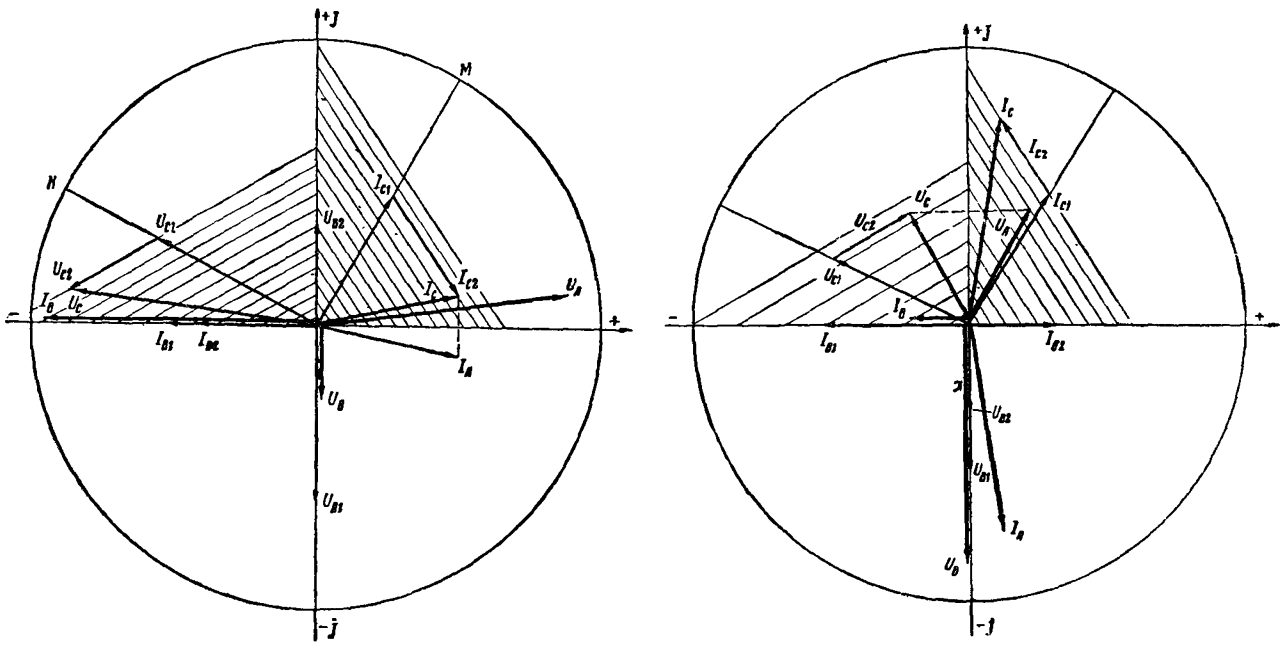


Рис. 1-25. Номограммы для определения полных токов в фазах и фазных напряжений на стороне звезды при коротких замыканиях на стороне звезды трансформатора, соединенного по схеме звезда-треугольник-11.
а — при двухфазном коротком замыкании; *б* — при однофазном коротком замыкании.

2. По оси OM откладывается вектор тока прямой последовательности фазы C—I_{C1}, и к его концу прикладывается вектор тока обратной последовательности I_{C2}. Соединением конца вектора I_{C2} с началом координат определяется полный ток фазы C—I_C.

3. Определяется вектор тока фазы A, равный по величине I_C и расположенный симметрично ему относительно оси вещественных величин.

4. Откладываются векторы напряжений прямой и обратной последовательностей фазы B—U_{B1}, U_{B2} по оси мнимых величин с учетом того, что U_{B1} опережает I_{B1} на 90°, а U_{B2} отстает от I_{B2} на такой же угол.

Определяется напряжение фазы B, равное

$$U_B = U_{B1} + U_{B2}.$$

5. По оси OK откладывается вектор напряжения прямой последовательности U_{C1}, и к его концу прикладывается вектор напряжения обратной последовательности U_{C2}. Соединением конца вектора U_{C2} с началом координат определяется полное фазовое напряжение U_C.

6. Определяется вектор напряжения фазы A U_A, равный по величине U_C и расположенный симметрично ему относительно оси мнимых величин.

Аналогично рассмотренному выше может быть построена диаграмма токов и напряжений на стороне треугольника при однофазном замыкании фазы A на стороне звезды (рис. 1-25,*б*).

Номограммы (рис. 1-23 и 1-25) построены для расчетов без учета активных сопротивлений, поэтому векторы токов и напряжений одной фазы располагаются под углом 90°.

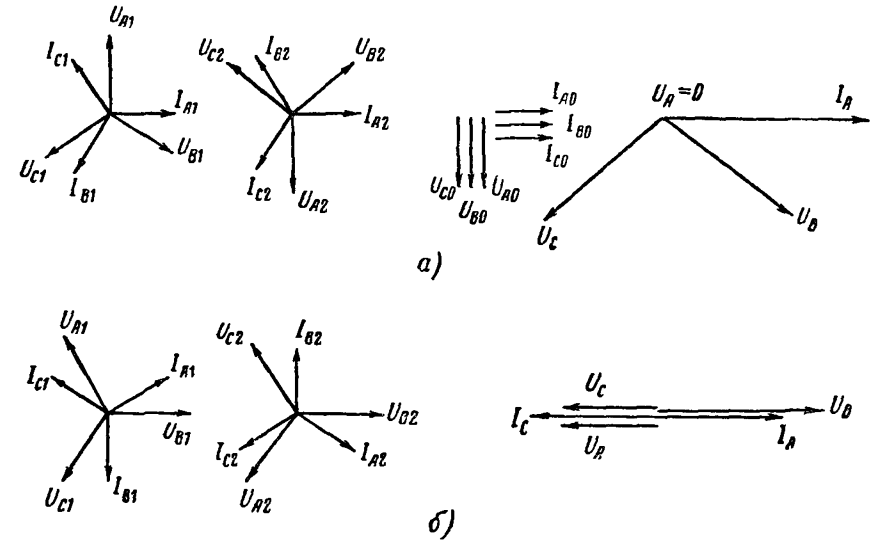


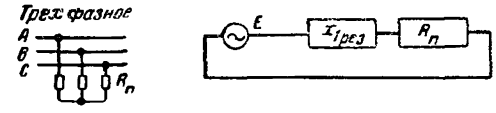
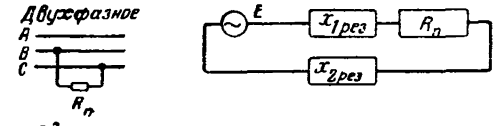
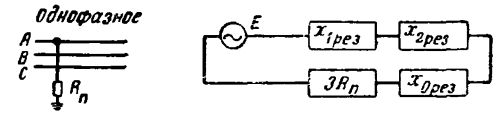
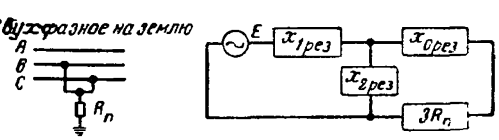
Рис. 1-26. Векторные диаграммы симметричных составляющих при переходе через трансформатор с соединением звезда-треугольник-11 для случая однофазного короткого замыкания на стороне звезды
а — сторона звезды; *б* — сторона треугольника.

1-7. УЧЕТ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В МЕСТЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Учет переходного сопротивления не вносит изменений в методы расчетов токов короткого за-

Таблица 1-20

Расчетные схемы и соотношения между токами и напряжениями при учете сопротивления в месте короткого замыкания

Вид короткого замыкания	Схема замещения для расчета тока прямой последовательности	Соотношения между полными токами и напряжениями	Соотношения между симметричными составляющими
Трехфазное		$U_A = U_B = U_C$ $I_A = I_B = I_C$	$U_{A1} = I_{A1} R_п$ $U_{A2} = 0$ $I_{A0} = 0$
Двухфазное		$U_{BC} = I_B R_п$ $I_A = 0$ $I_B = I_C$	$U_{A1} = U_{A2} + I_{A1} R_п$ $I_{A2} = -I_{A1}$ $I_{A0} = 0$
Однофазное		$U_A = I_A R_п$ $I_B = I_C = 0$	$U_{A1} = -\frac{1}{3}(U_{A2} + U_{A0}) + I_{A1} 3R_п$ $I_{A1} = I_{A2} = I_{A0}$
Двухфазное на землю		$U_B = U_C = \frac{1}{2}(I_B + I_C) R_п$ $I_A = 0$	$U_{A1} = U_{A2} = U_{A0} - 3I_{A0} R_п$ $I_{A1} = -(I_{A2} + I_{A0})$

мыкания. Переходное сопротивление принимается чисто активным и включается в комплексные расчетные схемы.

Расчетные схемы и основные соотношения между полными токами и напряжениями, а также симметричными составляющими для некоторых видов коротких замыканий через переходные сопротивления приведены в табл. 1-20.

1-8. УЧЕТ КАЧАНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Приведенные выше методы расчетов токов короткого замыкания не учитывают наличия углов между э. д. с. генераторов и их изменения во времени.

Упрощенный расчет с учетом качаний выполняется в следующей последовательности:

1. Составляется комплексная расчетная схема для определения тока прямой последовательности. В схему замещения (рис. 1-27) входят сопротивления прямой последовательности x' и x'' от точки короткого замыкания до э. д. с. генератора E'_1 и напряжения системы U_c. Генератор замещается э. д. с. E''_d и сопротивлением x''_d.

$x_{доп}$ — дополнительное сопротивление, включаемое в точке короткого замыкания.

Величина $x_{доп}$ для разных видов коротких замыканий определяется согласно табл. 1-17.

2. Определяется угол между э. д. с. генератора и напряжением системы $\delta = f(t)$ (согласно разделу 2). Для отрезков времени 2—3 *сек* зависимость $\delta = f(t)$ может определяться приближенно, исходя из допущения, что начальное значение переходной э. д. с. сохраняется неизменным в течение всего аварийного режима.

3. В каждый момент времени определяется согласно (1-38), (1-39), (1-41) и (1-42) ток прямой последовательности, посылаемый через место короткого замыкания генератором $I_{к.з.Г} e^{j(\varphi+\delta)}$ и системой $I_{к.з.сист} e^{j\varphi}$.

4. Для каждого момента времени определяется суммарный ток прямой последовательности в месте короткого замыкания по (1-59):

$$I_{к.з.сум} = I_{к.з.Г} e^{j(\varphi+\delta)} + I_{к.з.сист} e^{j\varphi}. \qquad (1\text{-}59)$$

Суммирование производится аналитически или графически с учетом угла между токами.

5. По известному току прямой последовательности в месте короткого замыкания определяются токи обратной и нулевой последовательностей в месте короткого замыкания.

6. Определяется напряжение прямой последовательности в месте короткого замыкания согласно табл. 1-20. При этом следует учитывать угол вектора напряжения прямой последовательности.

7. Определяются распределение токов прямой последовательности по ветвям схемы (1-56) и напряжение прямой последовательности (1-58) в расчетных точках.

Эти расчеты также должны производиться с учетом углов между э. д. с., напряжением системы и напряжением в месте короткого замыкания.

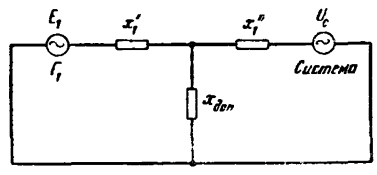


Рис. 1-27. Схема для расчета токов короткого замыкания с учетом качаний.

8. По (1-20) определяются напряжения обратной и нулевой последовательностей в месте короткого замыкания.

9. Определяется распределение токов обратной и нулевой последовательностей по ветвям схемы на основании данных табл. 1-14 и (1-57). Подсчитываются напряжения обратной и нулевой последовательностей в интересующих точках схемы согласно табл. 1-19 и (1-58).

10. Определяются полные токи и фазные напряжения в интересующих ветвях и точках. При суммировании составляющих токов и напряжений разных последовательностей следует учитывать углы между ними.

1-9. ВЫЧИСЛЕНИЕ ТОКОВ ПРИ ОБРЫВЕ ФАЗ В СИСТЕМЕ С ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

а) Основные правила вычисления токов при обрыве фаз

Вычисление токов при обрыве одной или двух фаз производится на основании следующих основных положений:

1. Ток прямой последовательности в месте обрыва определяется как ток нормального симметричного режима

$$I_{1\text{обр}} = \frac{(E_{1\text{рез}} - E_{2\text{рез}})}{x_{1\text{рез}} + x_{\text{доп}}} \qquad (1\text{-}60)$$

или

$$I_{1\text{обр}} = \frac{(E_{1\text{рез}} - E_{2\text{рез}})}{x_{\text{сум.рез}}}, \qquad (1\text{-}60\text{а})$$

где $I_{1\,\text{обр}}$ — ток прямой последовательности в месте обрыва;

$E_{1\,\text{рез}}$, $E_{2\,\text{рез}}$ — результирующие э. д. с. по концам электропередачи;

$x_{1\,\text{рез}}$ — результирующее сопротивление прямой последовательности, равное

$$x_{1\,\text{рез}} = x'_1 + x''_1;$$

x'_1 и x''_1 — сопротивления по обе стороны обрыва от места обрыва до нулевой точки системы в схеме прямой последовательности;

$x_{\text{сум.рез}} = x_{1\,\text{рез}} + x_{\text{доп}}$ — суммарное результирующее сопротивление в схеме прямой последовательности;

$x_{\text{доп}}$ — дополнительное сопротивление, величина которого определяется результирующими сопротивлениями обратной и нулевой последовательностей и числом оборванных фаз согласно табл. 1-21.

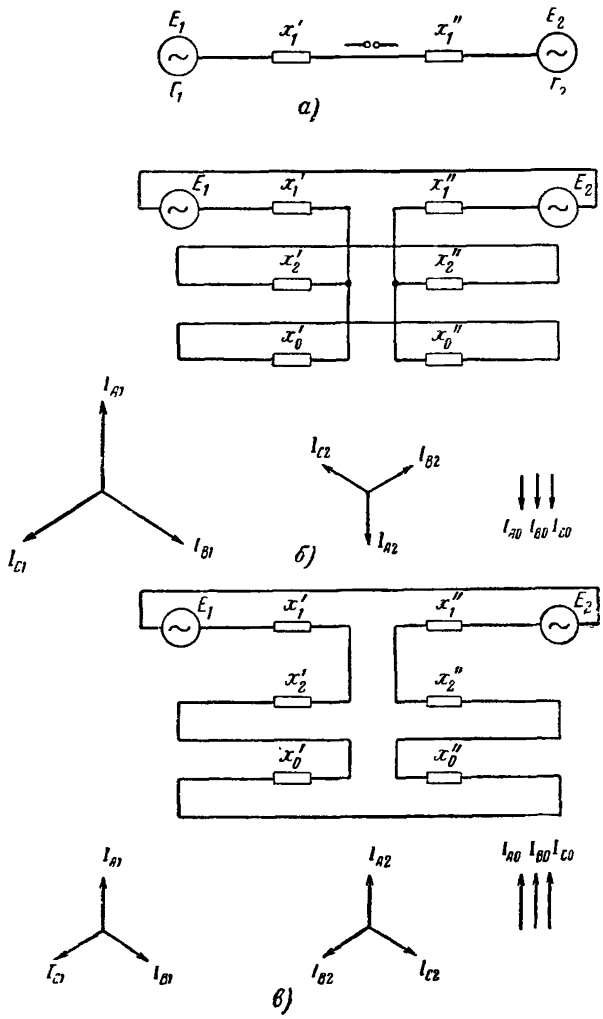


Рис. 1-28. Комплексные расчетные схемы и векторные диаграммы токов для расчета обрывов.
а — исходная схема; *б* — обрыв одной фазы *А*; *в* — обрыв двух фаз *В* и *С*.

Комплексные расчетные схемы и векторные диаграммы токов и напряжений для обрывов одной и двух фаз приведены на рис. 1-28 и 1-29.

Из (1-60) и (1-60а) следует, что величина тока $I_{1\text{обр}}$ зависит от величин э. д. с. $E_{1\text{рез}}$ и $E_{2\text{рез}}$ по кон-

Таблица 1-21

Сопротивления расчетной схемы при обрыве одной или двух фаз

Вид обрыва	$x_{\text{доп}}$	$x_{\text{сум.рез}} = x_{1\text{рез}} + x_{\text{доп}}$
Обрыв одной фазы	$\dfrac{x_{2\text{рез}} x_{0\text{рез}}}{x_{2\text{рез}} + x_{0\text{рез}}}$	$x_{1\text{рез}} + \dfrac{x_{2\text{рез}} x_{0\text{рез}}}{x_{2\text{рез}} + x_{0\text{рез}}}$
Обрыв двух фаз	$x_{2\text{рез}} + x_{0\text{рез}}$	$x_{1\text{рез}} + x_{2\text{рез}} + x_{0\text{рез}}$

цам схемы и от угла δ между ними. При расчетах величины $E_{1рез}$ и $E_{2рез}$ принимаются равными таковым для доаварийного режима. Угол δ может изменяться, так как при обрыве фазы возникают качания.

Для расчета в установившемся режиме угол δ обычно принимается таким, чтобы величина активной мощности, передававшейся между э. д. с. $E_{1рез}$ и $E_{2рез}$ в доаварийном режиме, осталась неизменной после обрыва. При этом угол δ может быть определен согласно указаниям раздела 2.

2. Вычисление полных токов и токов обратной и нулевой последовательностей по известному току прямой последовательности производится согласно табл. 1-22.

При расчетах обрывов, так же как и при расчетах коротких замыканий, можно принимать $x_{1рез}=x_{2рез}$.

При расчетах токов, проходящих при обрывах, генераторы замещаются соответствующими сопротивлениями и э. д. с., как при расчетах нормальных симметричных режимов. Для расчета установившегося процесса следует пользоваться величинами E_d и x_d, для расчета токов при качаниях или в первый момент нарушения нормального режима — E''_d и x''_d по (1-33) или согласно данным § 1-5,г.

б) Порядок вычисления токов в месте обрыва

1. Составляются эквивалентные расчетные схемы для каждой последовательности и определяются их результирующие сопротивления $x_{1рез}$; $x_{2рез}$; $x_{0рез}$.

2. Составляется комплексная схема для расчета тока прямой последовательности согласно табл. 1-21 и рис. 1-28. Определяется суммарное результирующее сопротивление $x_{сум.рез}$.

3. Вычисляется ток прямой последовательности I_1 по (1-60) и (1-60а).

4. Определяются токи обратной и нулевой последовательностей и полные токи фаз в месте обрыва согласно табл. 1-22.

в) Вычисление токов в ветвях

Так же как при расчете токов короткого замыкания, для определения полного тока в фазе в любой ветви схемы необходимо вначале определить токи прямой, обратной и нулевой последовательностей, проходящие

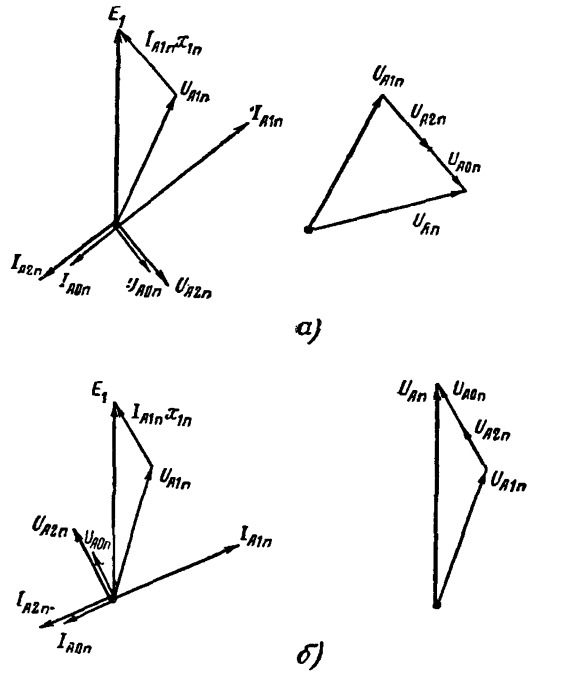


Рис. 1-29. Построение векторных диаграмм токов и напряжений фазы A при обрывах.
$а$ — одной фазы A; $б$ — двух фаз B и C.

по этой ветви, в эквивалентных схемах замещения соответствующих последовательностей.

Затем полученные токи суммируются аналитически согласно табл. 1-22 или графически согласно диаграммам рис. 1-29.

Токи прямой, обратной и нулевой последовательностей в ветвях вычисляются путем распределения тока, проходящего в месте обрыва по рассматриваемым элементам схемы каждой последовательности.

Для определения полных токов по их симметричным составляющим удобно пользоваться номограммой, при-

Таблица 1-22

Аналитические выражения для определения токов при обрыве одной или двух фаз

Вычисляемые токи в месте обрыва	Выражения для вычисления токов	
	Обрыв одной фазы A	Обрыв двух фаз B и C
Ток обратной последовательности фазы A	$I_{A2}=-I_{A1}\dfrac{x_{0рез}}{x_{2рез}+x_{0рез}}$	$I_{A2}=I_{A1}$
Ток нулевой последовательности	$I_{A0}=-I_{A1}\dfrac{x_{2рез}}{x_{2рез}+x_{0рез}}$	$I_{A0}=I_{A1}$
Полные токи в фазах:		
A	$I_A=0$	$I_A=3I_{A1}$
B	$I_B=\left(a^2-\dfrac{x_{2рез}+ax_{0рез}}{x_{2рез}+x_{0рез}}\right)I_{A1}$	$I_B=0$
C	$I_C=\left(a-\dfrac{x_{2рез}+a^2x_{0рез}}{x_{2рез}+x_{0рез}}\right)I_{A1}$	$I_C=0$

веденной на рис. 1-19. В этом случае построение для определения токов при обрыве одной фазы выполняется аналогично построению при расчете двухфазного короткого замыкания на землю, а при обрыве двух фаз — аналогично однофазному короткому замыканию.

г) Вычисление напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей в различных точках схемы

Для определения фазных напряжений в любой точке схемы необходимо вначале определить напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей для этой точки в эквивалентных схемах соответствующих последовательностей. Затем полученные напряжения суммируются аналитически или графически согласно рис. 1-29.

Напряжение прямой последовательности в интересующей точке вычисляется по (1-61), а напряжение обратной и нулевой последовательностей — по (1-62) и (1-63):

$$U_{1n}=E_1-I_{1n}x_n; \quad (1\text{-}61)$$

$$U_{2n}=0-I_{2n}x_{2n}; \quad (1\text{-}62)$$

$$U_{0n}=0-I_{0n}x_{0n}, \quad (1\text{-}63)$$

где E_1 — э. д. с. системы или станции;

U_{1n}, U_{2n}, U_{0n} — напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей в точке n;

I_{1n}, I_{2n}, I_{0n} — токи прямой, обратной и нулевой последовательностей, проходящие между нулевой точкой схемы каждой последовательности и точкой n; знак тока в (1-61)—(1-63) принимается положительным, когда ток проходит от нулевой точки схемы;

x_{1n}, x_{2n}, x_{0n} — реактанс прямой, обратной и нулевой последовательностей между нулевой точкой схемы каждой последовательности и точкой n.

д) Построение векторных диаграмм, определение фазных напряжений в различных точках схемы

Построение векторных диаграмм (рис. 1-29) производится в следующей последовательности:

1. Определяются токи прямой, обратной и нулевой последовательностей, проходящие между нулевыми точками схем соответствующих последовательностей и точкой n.

2. На диаграмме строятся э. д. с. E_1 и токи I_{1n}, I_{2n}, I_{0n}.

3. Определяется согласно (1-61) вектор U_{1n} и строится на диаграмме.

4. Определяются по (1-62) и (1-63) напряжения U_{2n} и U_{0n} и строятся на диаграмме. Если знак напряжения положительный, напряжения U_{2n} и U_{0n} опережают соответствующие токи I_{2n} и I_{0n} на 90°, если знак отрицательный, напряжения отстают от токов на 90°.

5. Суммируются составляющие токов и напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей каждой фазы и определяются полные токи и фазные напряжения.

На рис. 1-29 построены векторные диаграммы токов и напряжений симметричных составляющих и определено напряжение для одной фазы A. Аналогично могут быть выполнены построения для других фаз.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

2-1. СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ

а) Понятие о статическом пределе устойчивости энергосистем

Статическим пределом устойчивости называется предельная максимальная мощность, которая может быть передана в электрическую систему при медленном возрастании нагрузки. Различают *идеальный* предел при постоянстве напряжения на шинах приемной энергосистемы и *действительный* предел с учетом снижения напряжения на шинах приемной энергосистемы.

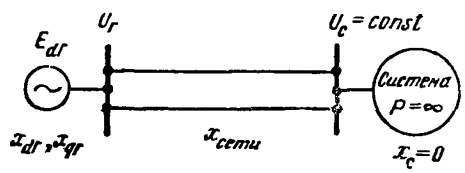


Рис. 2-1. Схема электропередачи.

б) Признаки статической устойчивости и расчетные выражения

Электрическая мощность генератора, работающего на шины системы бесконечной мощности (рис. 2-1), определяется следующими выражениями:

для неявнополюсного генератора без АРВ (кривая *1* на рис. 2-2)

$$P=\frac{E_{dr}U_c}{x_{сум}}\sin\delta, \quad (2\text{-}1а)$$

где $x_{сум}=x_{dr}+x_{сети}$;

для явнополюсного генератора без АРВ (кривая *2* на рис. 2-2)

$$P=\frac{E_{dr}U_c}{x_{d\,сум}}\sin\delta+\frac{U_c^2}{2}\cdot\frac{x_{d\,сум}-x_{q\,сум}}{x_{d\,сум}x_{q\,сум}}\sin 2\delta, \quad (2\text{-}1б)$$

Для генераторов с АВР пропорционального действия в (2-1а) и (2-1б) подставляется э. д. с. генератора в переходном режиме и генератор замещается x'_d.

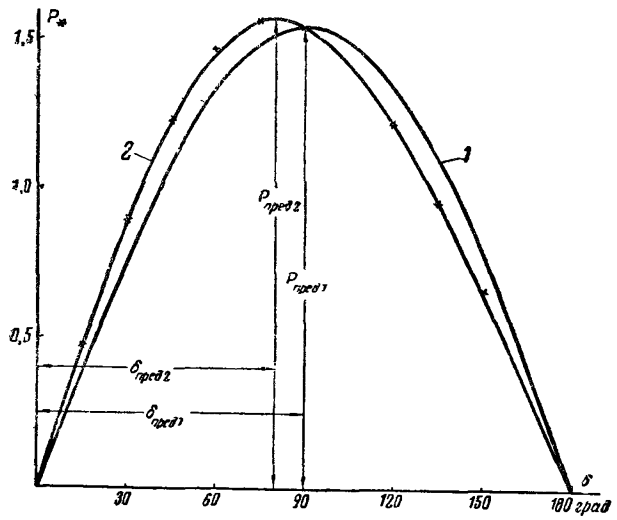


Рис. 2-2. Характеристики устойчивости.
1 — для неявнополюсного генератора; *2* — для явнополюсного генератора.

где

$$x_{d\,сум} = x_{d\Г} + x_{сети};$$

$$x_{q сум} = x_{q\Г} + x_{сети};$$

для генераторов с АРВ, обеспечивающими постоянство напряжения на шинах генератора,

$$P = \frac{U_\Г U_с}{x_{сети}} \sin\delta. \qquad (2\text{-}2)$$

В выражениях (2-1) — (2-10):
P — активная электрическая мощность;
Q — реактивная электрическая мощность;
$E_{d\Г}$ — э. д. с. генератора за синхронным реактивным сопротивлением;
$U_с$ — напряжение на шинах системы;
$U_\Г$ — напряжение на шинах генератора;
δ — угол между E_d и $U_с$ или между $U_\Г$ и $U_с$;
$x_{d\Г}$ — синхронное реактивное сопротивление генератора по продольной оси;
$x_{q\Г}$ — синхронное реактивное сопротивление генератора по поперечной оси;
$x_{сети}$ — реактивное сопротивление сети между шинами генератора и шинами системы;
$k_{з.ст}$ — коэффициент запаса статической устойчивости.

Величины P, U, x, E могут быть выражены в именованных или относительных единицах. В первом случае все величины должны быть приведены к одной ступени трансформации, а во втором — к базисным условиям. Выражения для приведения даны в табл. 1-13.

Электродвижущая сила генератора определяется по выражению

$$E_{d\Г} = \sqrt{\left(U_с + \frac{Qx_{d сум}}{U_с}\right)^2 + \left(\frac{Px_{d сум}}{U_с}\right)^2}. \qquad (2\text{-}3)$$

Признаком (критерием) статической устойчивости является

$$\frac{dP}{d\delta} > 0; \qquad (2\text{-}4)$$

т. е. система является устойчивой, если первая производная активной мощности по углу имеет положительный знак.

Пограничным условием, определяющим предел передаваемой мощности, является:

$$\frac{dP}{d\delta} = 0. \qquad (2\text{-}5)$$

Применяя эти условия к (2-1а), (2-1б) и (2-2), можно получить следующие выражения для определения предельных мощностей и предельных углов:

для неявнополюсных генераторов без АРВ

$$P_{пред} = \frac{E_{d\Г} U_с}{x_{сум}}; \qquad (2\text{-}6)$$

$\delta_{пред} = 90°$ ($\delta_{пред1}$ на рис. 2-2);

для явнополюсных генераторов без АРВ

$$\delta_{пред} = \arccos\left[\sqrt{0{,}0625\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2 + 0{,}5} - 0{,}25\frac{S_1}{S_2}\right] \qquad (2\text{-}7)$$

($\delta_{пред2}$ на рис. 2-2),

где

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{E_{d\Г} x_{q сум}}{U_с (x_{d сум} - x_{q сум})}.$$

Подставляя значение $\delta_{пред}$ в (2-1б), можно определить $P_{пред}$. Величину $\delta_{пред}$ можно также определить по кривой $\delta_{пред} = f(S_1/S_2)$ на рис. 2-3.

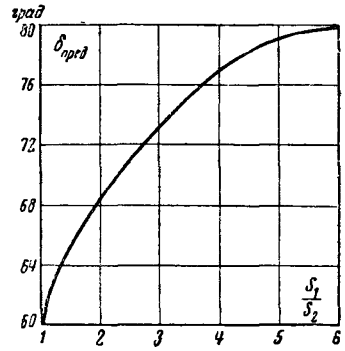


Рис. 2-3. Кривая для определения значения $\delta_{пред}$.

Для генераторов с АРВ, обеспечивающими постоянство напряжения на шинах генератора,

$$P_{пред} = \frac{U_\Г U_с}{x_{сети}}. \qquad (2\text{-}8)$$

в) Запас статической устойчивости

Запас статической устойчивости характеризуется коэффициентами запаса статической устойчивости по мощности или по напряжению на шинах приемной подстанции.

Коэффициент запаса статической устойчивости по мощности (2-9) показывает, на сколько процентов может быть увеличена передаваемая мощность, прежде чем произойдет нарушение статической устойчивости:

$$k_{з.ст P} = \frac{P_{пред} - P}{P} \cdot 100\%. \qquad (2\text{-}9)$$

Коэффициент запаса статической устойчивости по напряжению (2-10) показывает, на сколько процентов может быть снижено напряжение на шинах приемной подстанции, прежде чем, при той же величине передаваемой мощности, произойдет нарушение статической устойчивости.

$$k_{з.ст U} = \frac{U_c - U_{с.пред}}{U_c} 100\%. \qquad (2\text{-}10)$$

2-2. ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ

а) Понятие о запасе динамической устойчивости

При коротких замыканиях в электрической системе происходит внезапное и резкое уменьшение электрической мощности генераторов, а следовательно, и электромагнитных моментов на их валах (переход из точки *а* в точку *б* на рис. 2-4).

Уменьшение электромагнитных моментов при неизменных вращающих моментах первичных двигателей приводит к возникновению избыточных моментов на валах генераторов, под влиянием которых увеличивается их скорость вращения и изменяются углы сдвигов роторов генераторов относительно друг друга (переход из точки *б* в точку *в* на рис. 2-4).

Существенное значение для динамической устойчивости имеет место и вид короткого замыкания.

Наиболее опасным для динамической устойчивости удаленной станции является короткое замыкание на ее шинах или в непосредственной близости от них.

Самым тяжелым видом короткого замыкания является симметричное трехфазное короткое замыкание.

Из несимметричных коротких замыканий наиболее тяжелым является двухфазное короткое замыкание на землю, затем двухфазное короткое замыкание без земли и наименее тяжелым — однофазное короткое замыкание на землю.

За время короткого замыкания под влиянием избыточного момента роторы генераторов запасают кинетическую энергию (характеризуется площадкой $S_У$ на рис. 2-4).

После отключения короткого замыкания электромагнитные моменты на валах генераторов резко увеличиваются (переход из точки *в* в точку *г* на рис. 2-4), и если они станут больше вращающих моментов первичных двигателей, то начнется процесс торможения (характеризуется площадкой $S_Т$ на рис. 2-4).

В процессе торможения рост углов будет продолжаться до тех пор, пока не будет полностью израсходована запасенная ранее кинетическая энергия. При этом если кинетическая энергия будет израсходована при углах, при которых электромагнитный момент превышает вращающий момент первичного двигателя (до точки *д* на рис. 2-4), то генератор втянется в синхронизм.

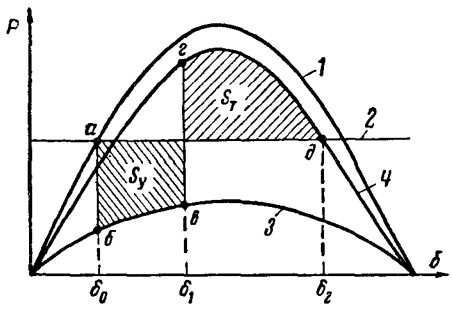


Рис. 2-4. Построение площадок ускорения и торможения.

При невыполнении этого условия генератор выйдет из синхронизма.

Таким образом, условием сохранения динамической устойчивости является

$$S_Т > S_У, \qquad (2\text{-}11)$$

где $S_Т$ — площадка возможного торможения;

$S_У$ — площадка ускорения.

Запас динамической устойчивости определяется местом, видом и продолжительностью короткого замыкания, при которых не происходит нарушения динамической устойчивости.

б) Расчеты площадок ускорения и возможного торможения

Графоаналитический расчет выполняется в следующей последовательности:

1. Строится диаграмма мощности $P_{эл.нор}=f(\delta)$ для нормального режима по выражению

$$P_{эл.пор} = \frac{E'U_c}{x_{сум}} \sin\delta \qquad (2\text{-}12а)$$

(кривая *1* на рис. 2-4),

где E' — э. д. с. генератора в переходном режиме, определяемая по (2-13),

$$E' = \sqrt{\left[U_Г + \left(\frac{Qx'_d}{U_Г}\right)\right]^2 + \left(\frac{Px'_d}{U_Г}\right)^2}, \qquad (2\text{-}13)$$

где $U_Г$ — напряжение на шинах генератора;

x'_d — переходное сопротивление генератора по продольной оси (табл. 1-1 и 1-2);

$x_{сум}$ — суммарное сопротивление между E' и U_c в нормальном режиме.

Все элементы электропередачи замещаются сопротивлениями прямой последовательности, а генераторы сопротивлением x'_d.

2. Наносится мощность первичного двигателя $P_{п.д}$ (для нормального режима изображается прямой линией *2* на рис. 2-4).

3. Строится диаграмма $P_{эл.ав}=f(\delta)$ для аварийного режима по (2-12б) (кривая *3* на рис. 2-4):

$$P_{эл.ав} = \frac{E'U_c}{x_{сум.ав}} \sin\delta. \qquad (2\text{-}12б)$$

Величина $x_{сум.ав}$, подставляемая в (2-12б), определяется с учетом вида короткого замыкания (рис. 2-5) по выражению

$$x_{сум.ав} = x_{сум} + \frac{x'x''}{x_{доп}}, \qquad (2\text{-}14)$$

где x' и x'' — сопротивления от точки короткого замыкания до э. д. с. генератора и напряжения системы;

$x_{доп}$ — дополнительное сопротивление, величина которого зависит от вида короткого замыкания и определяется согласно табл. 1-17.

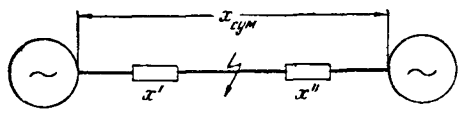


Рис. 2-5. Схема электропередачи при коротком замыкании.

4. Строится диаграмма $P_{эл.п.ав}=f(\delta)$ для послеаварийного режима по (2-12а), в которой $x_{сум}$ является суммарным сопротивлением между E' и U_c в послеаварийном режиме, т. е. с учетом отключений, происшедших при коротком замыкании.

В частном случае, когда $x_{сум}$ для доаварийного режима и послеаварийного режима равны, можно считать, что характеристики $P_{эл.нор}$ и $P_{эл.п.ав}$ совпадают.

5. Определяется угол δ_0 нормального режима в точке пересечения прямой линии $P_{п.д}$ и диаграммы мощности $P_{эл.нор}$.

При этом угле в момент возникновения короткого замыкания происходит переход с характеристики $P_{эл.нор}$ на $P_{эл.ав}$.

6. Определяется угол δ_1 в момент отключения короткого замыкания, при котором оканчивается аварийный режим и происходит переход с диаграммы мощности $P_{эл.ав}$ на $P_{эл.п.ав}$.

7. С помощью планиметра определяется величина площадки ускорения, которая пропорциональна избыточной кинетической энергии, полученной агрегатом за время аварийного режима.

8. С помощью планиметра определяется величина площадки возможного торможения, которая пропорциональна избыточной кинетической энергии, отдаваемой агрегатом в послеаварийном режиме при изменении угла от δ_1 до δ_2.

При отсутствии планиметра диаграмма строится на миллиметровой бумаге и величина площадок $S_У$ и $S_Т$ определяется подсчетом квадратных миллиметров, заключеиных в этих площадках.

9. Динамическая устойчивость не будет нарушена, если выполняется условие (2-11).

Если окажется, что $S_Т<S_У$, то произойдет нарушение динамической устойчивости и возникнет асинхронный ход.

Аналитический расчет площадок ускорения и торможения производится по следующим выражениям:

$$S_У = P_{п.д}(\delta_1 - \delta_0) - P_{эл.ав.макс}(\cos\delta_1 - \cos\delta_0); \quad (2\text{-}15)$$

$$S_Т = P_{эл.п.ав}(\cos\delta_2 - \cos\delta_1) - P_{п.д}(\delta_2 - \delta_1). \quad (2\text{-}16)$$

В частном случае при трехфазном коротком замыкании в начале линии электропередачи площадка ускорения равна:

$$S_У = P_{п.д}(\delta_1 - \delta_0). \quad (2\text{-}17)$$

$P_{эл.ав.макс}$ и $P_{эл.п.ав.макс}$ — амплитудные значения мощности, определяемые выражением

$$P_{эл.макс} = \frac{E'U_c}{x_{сум}}. \quad (2\text{-}18)$$

в) Расчет зависимости угла δ от времени $\delta=f(t)$ методом последовательных интервалов

Метод последовательных интервалов представляет собой приближенное решение в конечных приращениях дифференциального уравнения качаний машин (2-19)

$$M\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_0 - P_{макс}\sin\delta. \quad (2\text{-}19)$$

Расчет методом последовательных интервалов выполняется в следующем порядке:

1. Составляется расчетная схема замещения. Все элементы электропередачи замещаются своими сопротивлениями. Генераторы замещаются сопротивлением x'_d и э. д. с. E', определяемой по (2-13).

При выполнении расчета в относительных единицах величины P_0, $P_{эл.макс}$ и M — постоянная инерции — приводятся к произвольно выбранной базисной мощности по выражениям:

$$P_{*0} = \frac{P_0}{W_{баз}}; \quad (2\text{-}20)$$

$$P_{эл.макс} = \frac{P_{эл.макс}}{W_{баз}}; \quad (2\text{-}21)$$

$$M_* = M_{ном}\frac{W_{ном}}{W_{баз}}. \quad (2\text{-}22)$$

В (2-22) M — постоянная инерции, *сек*.

Если величина $M_{ном}$ неизвестна, она может быть определена согласно следующему выражению:

$$M_{(сек)} = \frac{2{,}74JD^2n^2}{W_{баз}}\cdot 10^{-8}, \quad (2\text{-}23)$$

где JD^2 — маховой момент, $T\cdot м^2$;

n — число оборотов агрегата в минуту.

Для расчетов можно также пользоваться средними значениями постоянной инерции $M_{ном}$ (табл. 1-4).

2. Выбирается расчетный интервал времени Δt, обычно $\Delta t=0{,}05$—$0{,}1$ *сек*.

3. Для момента времени $t_0=0$ подсчитывается избыток мощности ΔP_0 по выражению

$$\Delta P_0 = P_{п.д} - P_{эл.ав.макс}\sin\delta_0. \quad (2\text{-}24)$$

4. Для момента времени $t_{(1)} = t_{(0)} + \Delta t$ подсчитывается приращение угла за интервал времени Δt:

$$\Delta\delta_{(1)} = \frac{360f\Delta t^2}{M_*}\frac{\Delta P_{(0)}}{2}, \quad (2\text{-}25)$$

где f — частота, *гц*.

5. Подсчитывается значение угла в конце первого интервала времени:

$$\delta_{(1)} = \delta_{(0)} + \Delta\delta_{(1)}. \quad (2\text{-}26)$$

6. Для нового значения угла $\delta_{(1)}$ определяется избыток мощности $\Delta P_{(1)}$.

Величина $\Delta P_{(n)}$ для каждого последующего интервала определяется по следующему выражению:

$$\Delta P_{(n)} = P_{п.д} - P_{эл.ав.макс}\sin(\delta_{(n)}. \quad (2\text{-}27)$$

7. Величина угла для интервала n определяется согласно выражению:

$$\delta_{(n)} = \delta_{(n-1)} + \Delta\delta_{(n)}. \quad (2\text{-}28)$$

8. Приращение угла $\Delta\delta_{(n)}$ за интервал n подсчитывается по выражению

$$\Delta\delta_{(n)} = \frac{360f\Delta t^2}{M_*}\Delta P_{(n-1)}. \quad (2\text{-}29)$$

9. Если в начале некоторого (k-го) интервала происходит изменение режима, например отключение по-

врежденного участка, то избыток мощности изменится скачком от некоторой величины $\Delta P'_{(k-1)}$ до $\Delta P''_{(k-1)}$. При этом приращение угла за k-й интервал следует подсчитывать по следующему выражению:

$$\Delta\delta_{(k)} = \Delta\delta_{(k-1)} + \frac{360f\Delta t^2}{M_*}\,\frac{\Delta P'_{(k-1)} + \Delta P''_{(k-1)}}{2}. \quad (2\text{-}30)$$

В последующие интервалы времени $\Delta\delta$ подсчитывается по (2-29).

При выполнении расчета методом последовательных интервалов удобно записывать результаты в форме таблицы.

Интервал	t	δ	$\sin\delta$	P	ΔP	$\Delta\delta$
1	0					
2	0,05					
3	0,1					
4	0,15					
5	0,2					
.	.					
.	.					

10. Строится кривая зависимости $\delta = f(t)$, и по известному времени отключения короткого замыкания определяется угол δ, соответствующий этому моменту.

г) Расчет зависимости угла от времени $\delta = f(t)$ при полном сбросе нагрузки генератора ($P_{эл} = 0$)

Изменение угла во времени $\delta = f(t)$ для нескольких первых периодов при полном сбросе нагрузки и выходе генератора или группы генераторов из синхронизма можно определить аналитически согласно следующему выражению:

$$\Delta\delta = \frac{P_{п.д}}{2M}t^2. \quad (2\text{-}31)$$

В (2-31) для получения значения угла в градусах необходимо подставить

$$P_{п.д} = 1, \quad M \text{ — в } \frac{сек}{360°\cdot 50}, \quad t \text{ — в } сек.$$

д) Приближенное определение периода синхронных качаний

Период синхронных качаний можно определить по выражению

$$T = \sqrt{\frac{2{,}5\pi M P_{ном} x_{сум}}{fE'U_c}}, \; сек. \quad (2\text{-}32)$$

Выражение (2-32) дает достаточно точные результаты, если максимальный угол при качаниях не превышает 90—120°.

При бо́льших значениях максимального угла при качаниях величина периода T будет в действительности превышать значение, определенное (по 2-32), где M приведена к номинальной мощности генераторов, *сек*; $P_{ном}$ — номинальная мощность генераторов, *Мвт*; f — частота, *гц*; $x_{сум}$ — суммарное сопротивление связи, *ом*; E' — э. д. с. генераторов, *кв*; U_c — напряжение системы, *кв*.

2-3. РАСЧЕТ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ САМОЗАПУСКЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

а) Расчет тока самозапуска при питании электродвигателей от шин бесконечной мощности через трансформатор или реактированную линию

Расчет производится для наиболее тяжелых условий подачи напряжения на остановленные электродвигатели и выполняется в следующем порядке (рис. 2-6):

1. Определяется суммарный пусковой ток неотключаемых электродвигателей при номинальном напряжении:

$$I_{пуск.сум} = I_{пуск1} + I_{пуск2} + \ldots + I_{пускn}. \quad (2\text{-}33)$$

Величины пусковых токов определяются по каталогам или путем осциллографирования. По известной кратности пускового тока $k_{пуск}$ пусковой ток электродвигателя определяется как

$$I_{пуск} = k_{пуск} I_{ном}. \quad (2\text{-}34)$$

2. Определяется суммарное эквивалентное сопротивление остановленных электродвигателей:

$$x_{дв.экв} = \frac{U_{ном.дв}}{\sqrt{3} I_{пуск.сум}}. \quad (2\text{-}35)$$

3. Определяется суммарное расчетное сопротивление при питании от трансформатора:

$$x_{сум.расч} = x_т + x_{дв.экв}, \quad (2\text{-}36а)$$

при питании от реактора:

$$x_{сум.расч} = x_р + x_{дв.экв}. \quad (2\text{-}36б)$$

4. Определяется суммарный ток самозапуска:

$$I_{сз.сум} = \frac{U_c}{\sqrt{3} x_{сум.расч}}. \quad (2\text{-}37)$$

5. Определяется остаточное напряжение на шинах, от которых питаются электродвигатели:

$$U_{ост.дв} = U_c \frac{x_{дв.экв}}{x_{сум.расч}}. \quad (2\text{-}38)$$

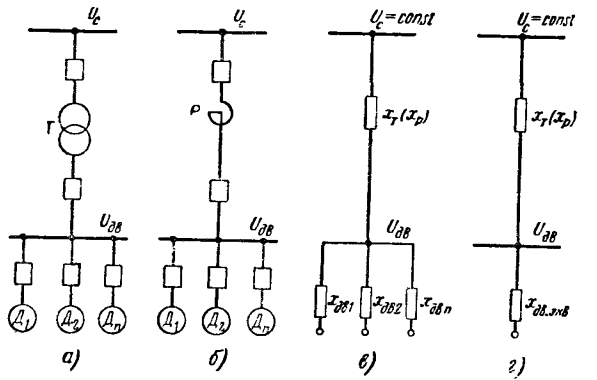


Рис. 2-6. К расчету самозапуска электродвигателей при питании от шин *бесконечной мощности*.

а — расчетная схема при питании через трансформатор; *б* — то же при питании через реактор; *в* — схема замещения; *г* — эквивалентная схема замещения.

б) Учет осветительной и другой неизменной нагрузки при расчете самозапуска

Расчет производится аналогично рассмотренному выше. Отличие заключается в учете осветительной и другой нагрузки, имеющей неизменную величину сопротивления.

1. Суммарный ток определяется как сумма двух составляющих:

$$I_{\text{сум}} = I_{\text{пуск.сум}} + I_{\text{нагр.сум}}, \qquad (2\text{-}39)$$

где $I_{\text{пуск.сум}}$ — определяется по (2-33);

$I_{\text{нагр.сум}}$ — суммарный номинальный ток осветительной и другой нагрузки, имеющей неизменную величину сопротивления.

2. Суммарное эквивалентное сопротивление электродвигателей и другой нагрузки определяется выражением

$$x_{\text{сум.экв}} = \frac{U_{\text{ном.дв}}}{\sqrt{3} I_{\text{сум}}}. \qquad (2\text{-}40)$$

3. Суммарное расчетное сопротивление, суммарный ток самозапуска и остаточное напряжение на шинах, от которых питаются электродвигатели, определяются по (2-36), (2-37) и (2-38).

в) Расчет самозапуска при подключении остановленных электродвигателей к рабочему источнику, несущему нагрузку

Рассматриваемый случай имеет место, например, при действии АВР в случае неявно выраженного резерва. Двигатели 1-й секции (рис. 2-7) подключаются к трансформатору *Т-2*, который нормально питает нагрузку 2-й секции.

В этом случае с достаточной точностью суммарный ток двух секций определяется выражением

$$I_{\text{сум1-2}} = I_{\text{сум1}} + I_{\text{сум.нагр2}}, \qquad (2\text{-}41)$$

где $I_{\text{сум1}}$ — суммарный ток 1-й секции, определенный согласно (2-39);

$I_{\text{сум.нагр2}}$ — суммарный ток электродвигателей и другой нагрузки 2-й секции до включения секционного выключателя.

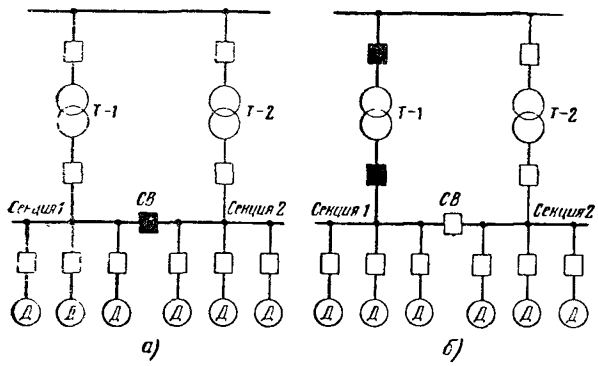


Рис. 2-7. К расчету самозапуска при подключении остановленных электродвигателей к рабочему источнику, несущему нагрузку.

а — нормальная схема; *б* — расчетная схема после отключения трансформатора *Т-1* и включения секционного выключателя *СВ*.

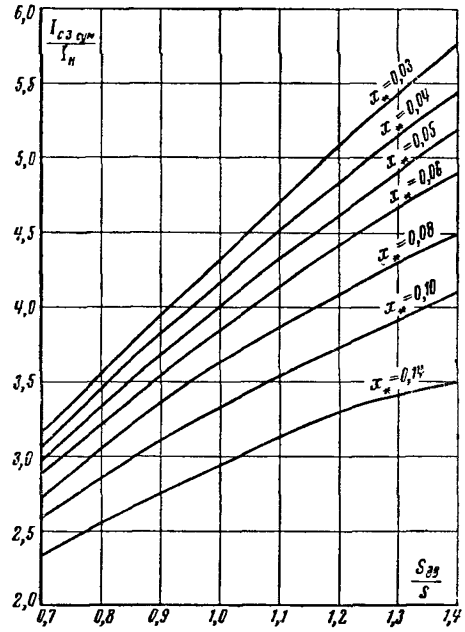


Рис. 2-8. Кривые для приближенного определения тока самозапуска.

Определение $x_{\text{сум.экв}}$, $I_{\text{сз.сум}}$ и $U_{\text{ост.дв}}$ производится по (2-36)—(2-40).

Для приближенного определения тока самозапуска можно воспользоваться кривыми, приведенными на рис. 2-8

Кривые представляют зависимость кратности тока самозапуска от суммарной мощности двигателей, подключенных к трансформатору или реактированной линии. Кривые построены для определенных значений сопротивления трансформатора или реактированной линии.

На рис. 2-8: x_* — индуктивное сопротивление трансформатора или реактированной линии в относительных единицах (отнесенное к номинальной мощности); S — мощность трансформатора (реактированной линии); $S_{\text{дв}}$ — суммарная мощность двигателей, подключенных к трансформатору (реактированной линии); $I_{\text{сз сум}}$ — суммарный ток при самозапуске электродвигателей, подключенных к трансформатору (реактированной линии); $I_{\text{ном}}$ — номинальный ток трансформатора (реактированной линии).

г) Расчет самозапуска электродвигателей, питающихся от генератора соизмеримой мощности

Расчет тока и остаточного напряжения при самозапуске электродвигателей, питающихся от генератора соизмеримой мощности, производится в следующем порядке:

1. Определяются $x_{\text{дв.экв}}$ и $x_{\text{сум.расч}}$ (по 2-35), (2-36) и (2-40).

2. Определяется переходная э. д. с. генератора E'_d по выражению

$$E'_d = U_{\text{ном}} + I_{\text{ном}} x'_d \sin\varphi_{\text{ном}}, \qquad (2\text{-}42)$$

где x'_d — переходное сопротивление генератора по продольной оси по паспортным данным;

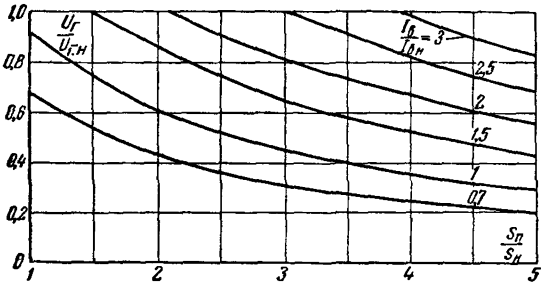


Рис. 2-9. Напряжение на генераторе в зависимости от условной пусковой мощности при установившемся режиме.

$U_{ном}$, $I_{ном}$, $\varphi_{ном}$ — номинальные напряжения, ток и угол между ними.

3. Определяется начальное значение напряжения и тока:

$$U_{нач} = E'_d \frac{x_{дв.экв}}{x'_d + x_{дв.экв}}; \qquad (2\text{-}43)$$

$$I_{пуск.нач} = \frac{E'_d}{x'_d + x_{дв.экв}}. \qquad (2\text{-}44)$$

4. Определяется условная пусковая мощность:

$$S_{пуск} = \sqrt{3} I_{пуск.сум} U_{ном}, \qquad (2\text{-}45)$$

где $I_{пуск.сум}$ — суммарный пусковой ток, определенный по (2-33).

5. Определяется остаточное напряжение на выводах генератора в установившемся режиме по кривым, приведенным на рис. 2-9 для заданного значения тока возбуждения $I_в$ при определенной условной пусковой мощности $S_{пуск}$.

На рис. 2-9: $I_в$ — ток возбуждения генератора в установившемся режиме, $I_{в.н}$ — номинальный ток возбуждения генератора; $S_{пуск}/S_{ном}$ — отношение условной пусковой мощности электродвигателей, определенной по (2-45), к номинальной мощности генератора; $U_г/U_{г.н}$ — отношение напряжения генератора при самозапуске к номинальному напряжению.

6. Определяется ток самозапуска:

$$I_{св.пуск} = \frac{U_г}{\sqrt{3} x_{дв.экв}}. \qquad (2\text{-}46)$$

2-4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА РОТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ЗАДАННОМ НАПРЯЖЕНИИ И ТОКЕ СТАТОРА

Определение тока ротора при заданном напряжении и токе статора производится в следующей последовательности:

1. Строятся характеристики холостого хода (х. х. х.) и трехфазного короткого замыкания (х. к. з.) генератора (рис. 2-10).

2. По вертикальной оси откладывается заданная величина напряжения статора $U_{ст}$. Под углом φ (φ — угол между напряжением и током статора) относительно вектора напряжения строится вектор тока статора $I'_{ст}$.

3. По характеристике короткого замыкания определяется ток ротора $I'_{рот}$, при котором ток статора равен

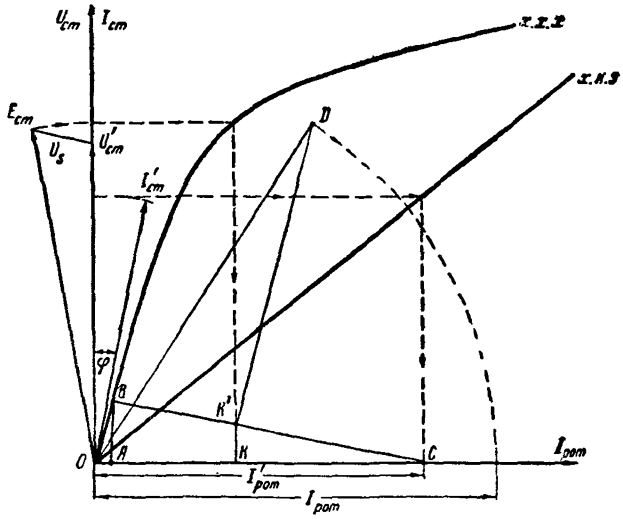


Рис. 2-10. Определение тока ротора синхронного генератора при заданном напряжении и токе статора.

заданному. Значение тока ротора сносится на горизонтальную ось (отрезок OC на рис. 2-9).

4. Определяется величина падения напряжения в сопротивлении рассеяния генератора при заданном токе статора согласно выражению

$$U_s = I_{ст} x_s. \qquad (2\text{-}47)$$

Величина U_s откладывается по вертикальной оси и переносится на х. х. х. (отрезок AB на рис. 2-9).

5. Строится треугольник ABC.

6. Определяется э. д. с. статора $E_{ст}$. Для этого перпендикулярно току статора из вершины вектора $U_{ст}$ откладывается вектор падения напряжения в сопротивлении рассеяния генератора U_s и строится вектор $E_{ст}$.

7. По характеристике холостого хода определяется ток ротора, необходимый для создания э. д. с. $E_{ст}$ (отрезок OK на рис. 2-9).

8. Параллельно вертикальной оси проводится линия KK' до пересечения с линией BC.

9. Из точки K' параллельно вектору тока статора откладывается отрезок $K'Д$, равный отрезку AC.

10. Проводится линия $ОД$. По горизонтальной оси определяется полный ток ротора $I_{рот}$, величина которого равна отрезку $ОД$.

2-5. РАСЧЕТ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ГЕНЕРАТОРА МЕТОДОМ САМОСИНХРОНИЗАЦИИ

Величина периодической составляющей тока в момент включения определяется выражением

$$I_{пер} = \frac{U_c}{x'_d + x_{рез}}, \qquad (2\text{-}48)$$

где U_c — напряжение сети;

x'_d — переходное реактивное сопротивление генератора;

$x_{рез}$ — наименьшее результирующее реактивное сопротивление системы, приведенное к шинам генератора.

Напряжение на шинах генератора в момент включения определяется следующим выражением:

$$U_{\text{ген}} = U_c \frac{x'_d}{x'_d + x_{\text{т.ез}}}. \qquad (2\text{-}49)$$

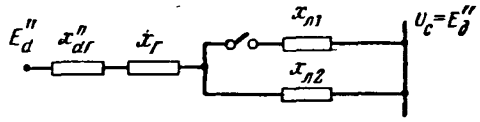
2-6. РАСЧЕТ ТОКОВ ПРИ НЕСИНХРОННОМ ВКЛЮЧЕНИИ

Для расчета $I_{\text{нс}}$ генераторов заданная система упрощается путем преобразований и приводится к виду: два генератора, соединенные одиночной линией электропередачи. Расчет при этом ведется без учета нагрузки.

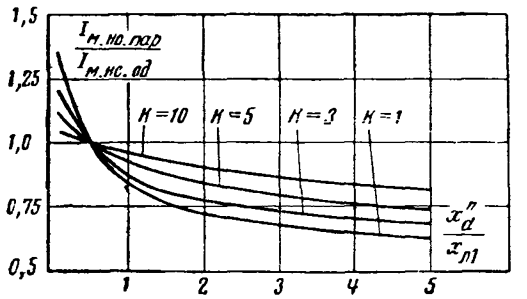
Ток $I_{\text{нс}}$ в эквивалентной одиночной линии определяется выражением

$$I_{\text{нс}} = \frac{E''_{d1} + E''_{d2}}{x_{\text{экв}}}; \qquad (2\text{-}50)$$

Здесь E''_{d1} и E''_{d2} — э. д. с. генераторов противоположных частей энергосистемы, равные в системе относительных единиц 1,05 каждая, а $x_{\text{экв}}$ — эквивалентное реактивное сопротивление между частями энергосистемы, в которое генераторы входят своими сверхпереходными реактивными сопротивлениями. Затем находится распределение тока $I_{\text{нс}}$ между всеми генераторами системы.



а)



б)

Рис. 2-11. Определение тока при несинхронном включении линии, имеющей параллельные связи. *а* — схема замещения; *б* — кривые зависимости $\frac{I_{\text{м.нс.пар}}}{I_{\text{м.нс.од}}} = f\left(\frac{x''_d}{x_{\text{л}1}}; \frac{x_{\text{л}2}}{x_{\text{л}1}}\right)$; $I_{\text{м.нс.пар}}$ — амплитуда тока при несинхронном включении с параллельной линией; $I_{\text{м.нс.од}}$ — амплитуда тока при несинхронном включении одиночной линии;

$$x''_d = x''_{d\text{г}} + x_{\text{т}};\quad k = \frac{x_{\text{л}2}}{x_{\text{л}1}}.$$

Расчет необходимо вести для режима, когда в рассматриваемой части системы включено минимальное число генераторов, а в остальных частях — максимальное. Тогда рассчитанный для данного генератора ток $I_{\text{нс}}$ окажется действительно максимальным.

При расчетах должна проверяться кратность токов не только для генераторов (*СК*), но и для трансформаторов (за исключением схем блоков, где мощность трансформатора равна мощности генератора).

При наличии параллельных или обходных связей возможность использования несинхронного АПВ (НАПВ) расширяется. При этом используется следующая методика расчета допустимости НАПВ:

1. Составляется схема замещения системы и приводится к виду, показанному на рис. 2-11,*а*.

2. По кривым (рис. 2-11,*б*) для данных значений $x_{\text{л}2}/x_{\text{л}1}$, $x''_d/x_{\text{л}1}$ определяется отношение амплитуды тока при несинхронном включении с параллельной цепью $I_{\text{м.нс.пар}}$ к амплитуде тока несинхронного включения одиночной линии $I_{\text{м.нс.од}}$:

$$\frac{I_{\text{м.нс.пар}}}{I_{\text{м.нс.од}}} = n, \qquad (2\text{-}51)$$

где

$$I_{\text{м.нс.пар}} = 2E_{d''\text{м}}\left[\frac{2}{x_{d''} + \frac{x_{\text{л}1}x_{\text{л}2}}{x_{\text{л}1}+x_{\text{л}2}}} - \frac{1}{x_{d''}+x_{\text{л}2}}\right]; \qquad (2\text{-}52)$$

$$I_{\text{м.нс.од}} = \frac{4E_{d''\text{м}}}{x_{d''} + x_{\text{л}1}}. \qquad (2\text{-}53)$$

При построении кривых использовались выражения для амплитуд токов $I_{\text{м.нс.пар}}$ и $I_{\text{м.нс.од}}$, учитывающие апериодическую слагающую, так как перед включением предполагается асинхронный режим по второй цепи и соотношение периодической и апериодической составляющих в (2-54) и (2-55) неодинаково.

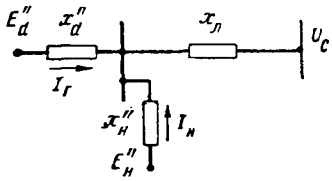


Рис. 2-12. Схема замещения к расчету тока несинхронного включения с учетом местной нагрузки.

При несинхронном включении одиночной линии в случае $x_{\text{л}1} \ll x_{\text{л}2}$

$$I_{\text{нс.од}} = \frac{2{,}1}{x_{d''}+x_{\text{л}1}}. \qquad (2\text{-}54)$$

Если в процессе НАПВ к отделившейся части энергосистемы остается приключенной значительная нагрузка (порядка суммарной мощности генераторов или больше), то в случае необходимости расчеты следует производить с учетом нагрузки. Отсос нагрузкой части уравнительного тока снижает кратность тока в генераторах той части системы, где нагрузка подключена.

В схему замещения (рис. 2-12) нагрузка вводится с э. д. с. $E''_{\text{н}}=0{,}9$ и обобщенным реактансом $x''_{\text{н}}=0{,}35$ относительных единиц, приведенным к номинальной мощности нагрузки в мегавольт-амперах.

Максимальное значение тока несинхронного включения $I_{\text{нс}}$ в этом случае определяется как

$$I_{\text{нс}} = \frac{U_c + E_{\text{экв}}}{x_{\text{сум}}}, \qquad (2\text{-}55)$$

где

$$E_{\text{экв}} = \frac{E''_d x''_{\text{н}} + E''_{\text{н}} x''_d}{x''_d + x''_{\text{н}}} \qquad (2\text{-}56)$$

и

$$x_{\text{сум}} = \frac{x''_d x''_{\text{н}}}{x''_d + x''_{\text{н}}} + x_{\text{л}}. \qquad (2\text{-}57)$$

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

РЕЛЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

3-1. РЕЛЕ ТОКОВЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СЕРИИ ЭТ-520

Реле применяются в схемах защит в качестве мгновенного реле максимального тока.

Токовое реле серии ЭТ-520 представляет собой электромагнитное реле с поворотным якорем (рис. 3-1). На

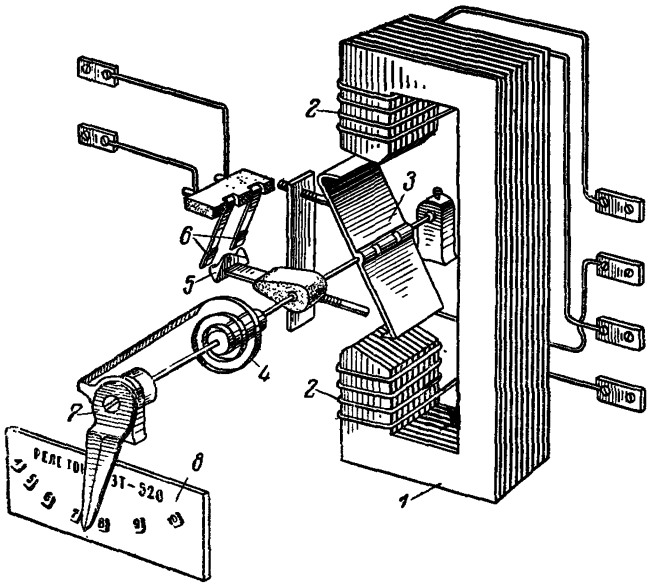


Рис. 3-1. Устройство реле серии ЭТ-520.

полюсах сердечника *1* расположены две катушки обмотки *2*. На оси укреплены изолированный от нее контактный мостик *5* и якорь *3*, который под действием магнитного потока стремится втянуться под полюсы. Противодействующий момент создается пружиной *4*, которая внутренним концом связана с осью якоря, а наружным — с указателем *7*. Производится плавное изменение уставки. Концы обеих обмоток реле, за исключением реле типа ЭТ-523/1Д, выведенные к зажимам, могут соединяться при помощи перемычек последовательно или параллельно. Этим осуществляется изменение пределов токов срабатывания в 2 раза.

При срабатывании реле мостик *5* замыкает неподвижные контакты *6*.

Выпускаются три исполнения реле серии ЭТ-520:

а) ЭТ-521 — с одним замыкающим контактом;

б) ЭТ-522 — с одним размыкающим контактом;

в) ЭТ-523 — с одним замыкающим и одним размыкающим контактами.

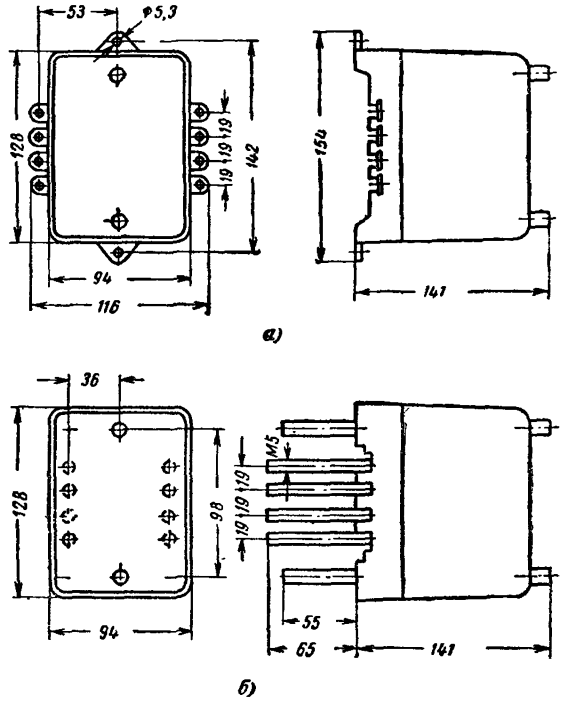


Рис. 3-3. Размеры реле ЭТ-520.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Схема внутренних соединений реле приведена на рис. 3-2,*а* габаритные и установочные размеры — на рис. 3-3.

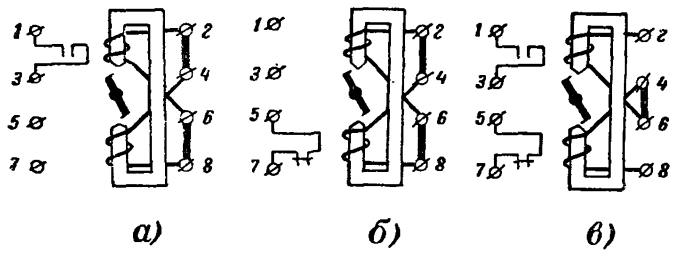


Рис. 3-2 Схема внутренних соединений реле.
а — ЭТ-521 и ЭН-524 (параллельное соединение катушек); *б* — ЭТ-522 и ЭН-528 (параллельное соединение катушек); *в* — ЭТ-523, ЭН-526 и ЭН-529 (последовательное соединение катушек).

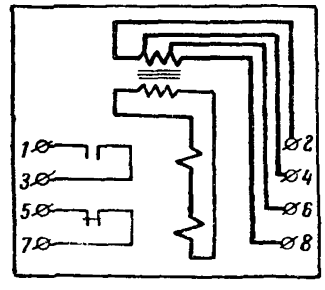


Рис. 3-4 Схема внутренних соединений реле типа ЭТ-523/1Д.

Таблица 3-1

Исполнения реле серии ЭТ-520

Тип	Пределы уставок $I_{ср}$, а	Последовательное соединение			Параллельное соединение			Исполнение контактов
		$I_{ср}$, а	Термическая устойчивость		$I_{ср}$, а	Термическая устойчивость		
			$I_{длит}$, а	$I_{1сек}$, а		$I_{длит}$, а	$I_{1сек}$, а	
ЭТ-521/0,2 ЭТ-522/0,2 ЭТ-523/0,2	0,05—0,2	0,05—0,1	0,3	12	0,1—0,2	0,6	24	Замыкающий Размыкающий Замыкающий и размыкающий
ЭТ-521/0,6 ЭТ-522/0,6 ЭТ-523/0,6	0,15—0,6	0,15—0,3	1	45	0,3—0,6	2	90	То же
ЭТ-521/2 ЭТ-522/2 ЭТ-523/2	0,5—2	0,5—1	4	100	1—2	8	200	То же
ЭТ-521/6 ЭТ-522/6 ЭТ-523/6	1,5—6	1,5—3	10	300	3—6	20	600	То же
ЭТ-521/10 ЭТ-522/10 ЭТ-523/10	2,5—10	2,5—5	10	300	5—10	20	600	То же
ЭТ-521/20 ЭТ-522/20 ЭТ-523/20	5—20	5—10	15	300	10—20	30	600	То же
ЭТ-521/50 ЭТ-522/50 ЭТ-523/50	12,5—50	12,5—25	20	450	25—50	40	900	То же
ЭТ-521/100 ЭТ-522/100	25—100	25—50	20	450	50—100	40	900	То же
ЭТ-521/200	50—200	50—100	20	450	100—200	40	900	Замыкающий

3-2. РЕЛЕ ТОКОВОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ТИПА ЭТ-523/1Д

Реле применяется в тех устройствах защиты и автоматики, где требуется высокая чувствительность при большой кратности длительно допустимого тока к току срабатывания.

Реле выполнено на базе реле ЭТ-520, но включается через насыщающийся трансформатор. Грубое изменение уставок производится изменением используемых зажимов (отпаек) первичной обмотки трансформатора, а плавное — поводком реле. Схема внутренних соединений дана на рис. 3-4, размеры — на рис. 3-5.

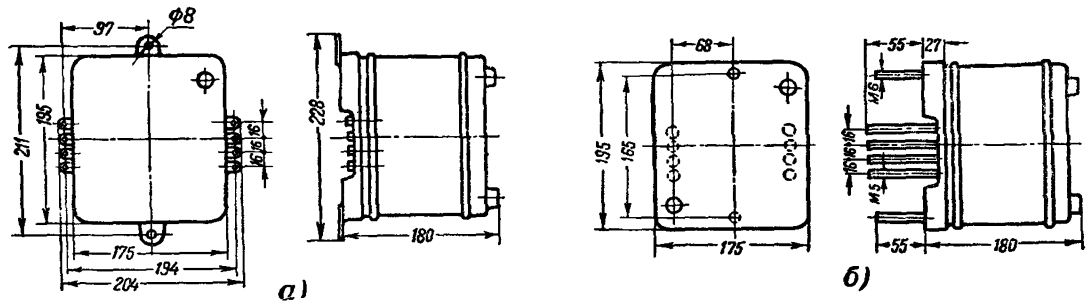


Рис. 3-5. Размеры реле типа ЭТ-523/1Д.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Таблица 3-2

Технические данные реле серии ЭТ-520 для частоты 50 *гц*

$k_в$	ЭТ-520/0,2—ЭТ-520/100	0,85
	ЭТ-520/200	0,7
$t_{ср}$, *сек*	При $1{,}2I_{ср}$	0,15
	При $2I_{ср}$	0,03
$P_{потр}$ при $I=I_{ср.мин}$, *ва* (обмотки соединены последовательно)	ЭТ-520/0,2 ЭТ-520/0,6 ЭТ-520/2 ЭТ-520/6	0,1
	ЭТ-520/10	0,15
	ЭТ-520/20	0,25
	ЭТ-520/50	1,0
	ЭТ-520/100 ЭТ-520/200	2,5 10
Число витков катушки, марка и диаметр провода	ЭТ-520/0,2 ЭТ-520/0,6 ЭТ-520/2 ЭТ-520/6 ЭТ-520/10 ЭТ-520/20 ЭТ-520/50 ЭТ-520/100 ЭТ-520/200	2×500 ПЭЛ 0,38 2×166 ПБД 0,8 2×50 ПБД 1,25 2×17 ПБД 1,95 2×10 ПБД 1,95 2×5 ПБД 2,26 2×2 ПБД 2,26 2×1 ПБД 2,26 2×1 ПБД 2,44
$P_{конт.разр}$ при $U\leqslant 220$ *в* и $I\leqslant 2$ *а*: в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой ($T=5\cdot10^{-3}$), *вт*	50	
в цепи переменного тока, *ва*	250	
Изоляция реле выдерживает при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000	
Вес, *кг*	1,4	

Примечание. При работе реле на постоянном токе коэффициент возврата уменьшается на 10—15%.

Таблица 3-3

Пределы регулирования уставок и величины сопротивления реле ЭТ-523/1Д

Зажимы первичной обмотки насыщающегося трансформатора реле	Пределы уставок $I_{ср}$, *а*	$z_р$ при токе, *ом*		
		$I_{ср.мин}$	5 *а*	30 *а*
2-8	0,15—0,3	19	3,5	0,9
2-6	0.3—0,6	5	1,3	0,3
2-4	0,5—1	2	0,7	0,18

Таблица 3-4

Технические данные реле ЭТ-523/1Д

$f_{ном}$, *гц*			50
Термическая устойчивость, *а*: $I_{длит}$			7
$I_{1сек}$			300
$t_{ср}$, *сек*: при $1{,}2I_{ср}$			0,15
при $2I_{ср}$			0,03
$k_в$ не ниже			0,65
$P_{конт.разр}$ при $U\leqslant 220$ *в* и $I\leqslant 2$ *а*: в цепи постоянного тока, *вт*			50
в цепи переменного тока, *ва*			250
Изоляция реле выдерживает при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*: относительно корпуса			2 000
между обмотками			1 000
Число витков, марка и диаметр провода:	реле		2×166 ПБД 0,64
	трансформатора	вторичная обмотка (внутренняя)	45 ПБД 0,64
		первичная (наружная)	145 ПБД 1,15
Вес, *кг*			3,5

3-3. РЕЛЕ ТОКОВОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ТИПА ЭТ-521/Ф

Реле применяется в схемах защиты установок переменного тока, в которых требуется отстройка от высших гармоник, в частности в схемах односистемной поперечной дифференциальной защиты генераторов.

Реле ЭТ-521/Ф выполнено на базе токового реле типа ЭТ-520, включенного через специальный трансформатор. Схема внутренних соединений реле дана на рис. 3-6. Параллельно обмоткам реле включен конденсатор, через который замыкается большая часть токов высших гармоник. Таким образом, для токов высших гармоник ток срабатывания реле возрастает. Реле имеет один замыкающий контакт. Размеры реле даны на рис. 3-7.

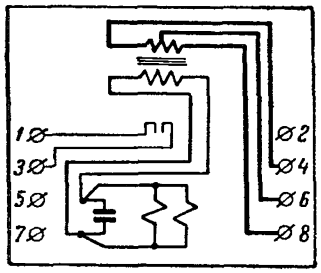


Рис. 3-6. Схема внутренних соединений реле типа ЭТ-521/Ф.

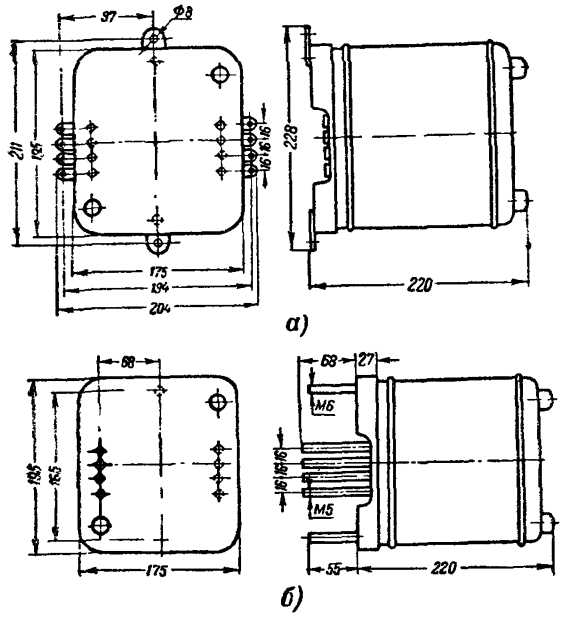


Рис 3-7. Размеры реле типа ЭТ-521/Ф.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Таблица 3-5

Пределы регулирования уставок и величины сопротивления реле ЭТ-521/Ф (при частоте 50 *гц*)

Питание подведено к зажимам трансформатора	$I_{ср}$, *а*	$z_р$, *ом*, при токе	
		$I_{ср.мин}$	20 *а*
4—8	1,75—3,5	0,035	0,033
6—8	2,9—5,8	0,018	0,016
4—6	4,4—8,8	0,012	0,011

Примечание. При частоте 150 *гц* токи срабатывания вырастают примерно в 10 раз.

3-4. РЕЛЕ ТОКОВОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ТИПА ЭТД-551

Реле применяется в схемах защиты от замыканий на землю генераторов, двигателей и линий в сети с малыми токами замыкания на землю.

Таблица 3-6

Технические данные реле ЭТ-521/Ф

Наименование параметра	Величина
$k_в$, не менее	0,8
$t_{ср}$ при токе $1{,}2I_{ср}$, *сек*	0,25
Термическая устойчивость первичной обмотки трансформатора, *а*:	
$I_{длит}$	6,5
$I_{1сек}$	250
$P_{коит.разр}$ при $U \leqslant 220$ *в* и $I \leqslant 2$ *а*:	
в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*), *вт*	50
в цепи переменного тока, *ва*	250
Вес реле, *кг*	4

Реле типа ЭТД-551 выполнено на базе реле серии ЭТ-520. В отличие от реле ЭТ-520 на магнитопроводе реле ЭТД-551 имеется дополнительная обмотка, замкнутая на конденсатор, для снижения потребляемой мощности реле. Реле имеет один замыкающий контакт. Схема внутренних соединений реле дана на рис. 3-8.

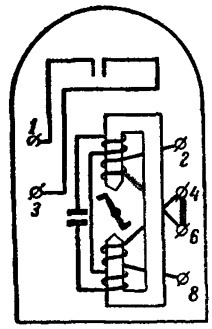


Рис. 3-8. Схема внутренних соединений реле типа ЭТД-551 (последовательное соединение катушек).

Реле типа ЭТД-551 имеет такие же размеры, как и реле серии ЭТ-520.

Таблица 3-7

Исполнения реле ЭТД-551

Тип	Пределы $I_{ср}$, *ма*	Последовательное соединение		Параллельное соединение	
		$I_{ср}$, *ма*	$z_р$, *ом*	$I_{ср}$, *ма*	$z_р$, *ом*
ЭТД-551/40	10—40	10—20	80	20—40	20
ЭТД-551/50	12,5—50	12,5—25	52	25—50	13
ЭТД-551/60	15—60	15—30	36	30—60	9

3-5. РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ СЕРИИ ЭН-520

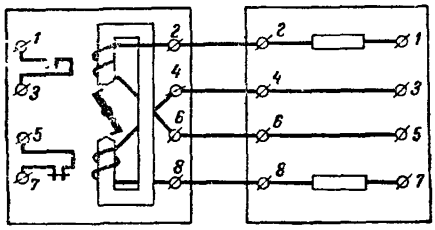
Реле применяются в схемах защит и автоматики в качестве мгновенных реле повышения или понижения напряжения.

Реле серии ЭН-520 выполнены на электромагнитном принципе с поворотным якорем и по конструкции маг-

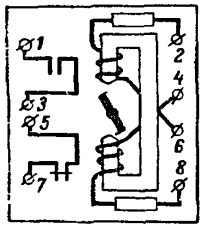
Таблица 3-8

Технические данные реле ЭТД-551 для частоты 50 гц

Наименование параметра		Величины
$P_{потр}$ при $I_{ср.мин}$, *ва*		0,012
$t_{ср}$, *сек*: при $2I_{ср}$ при $3I_{ср}$		0,3 0,1
$k_в$, не менее		0,5
$P_{конт.разр}$ при $U=220$ *в* и $I=0{,}5$ *а*: в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой, *вт*		20
в цепи переменного тока, *ва*		100
Электрическая прочность изоляции обмоток и контактной системы переменному току 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		2 000
Число витков, марка и диаметр провода: дополнительной обмотки реле всех исполнений (нижний)		2×6500 ПЭ 0,1
основной обмотки (верхней)	ЭТД-551/40	2×530 ПЭ 0,27
	ЭТД-551/50	2×425 ПЭ 0,31
	ЭТД-551/60	2×350 ПЭ 0,35
Вес реле, *кг*		1,4

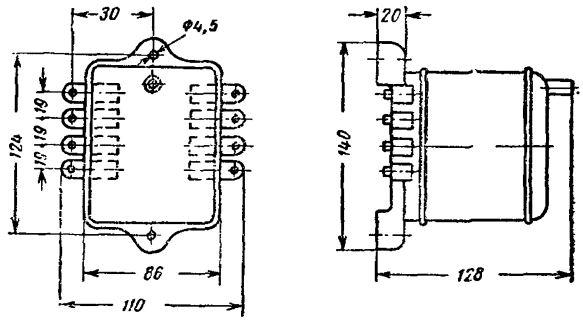


а)

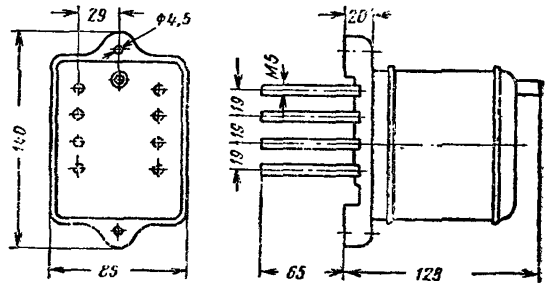


б)

Рис. 3-9. Схемы внутренних соединений реле.
а — типа ЭН-526/60Д;
б — типа ЭН-526/60Д-М.



а)



б)

Рис. 3-10. Размеры ВУ-67.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

нитной и контактной системы аналогичны токовым реле серии ЭТ-520. Реле ЭН-520 выпускаются в трех исполнениях:

а) Реле максимального напряжения ЭН-524 с одним замыкающим контактом.

б) Реле максимального напряжения ЭН-526 с одним замыкающим и одним размыкающим контактами.

Реле ЭН-526, кроме вышеуказанного типа, выпускаются еще в исполнениях ЭН-526/60Д и ЭН-526/60Д-М, имеющих повышенную термическую устойчивость. Реле ЭН-526/60Д имеет дополнительное вспомогательное устройство ВУ-67, представляющее собой набор остеклованных сопротивлений. Добавочные сопротивления к реле ЭН-526/60Д-М встроены в реле.

в) Реле минимального напряжения ЭН-528 с одним размыкающим контактом и ЭН-529 с одним замыкающим и одним размыкающим контактами.

Схемы внутренних соединений реле ЭН-524, ЭН-526, ЭН-528 и ЭН-529 даны на рис. 3-2, а реле ЭН-526/60Д и ЭН-526/60Д-М—на рис. 3-9. Размеры реле такие же, как у реле ЭТ-520, размеры ВУ-67 даны на рис. 3-10.

3-6. РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА ТИПА ЭН-524М

Реле применяется в схемах защиты и автоматики в качестве реле, реагирующего на появление или повышение напряжения, в частности используется в схемах контроля изоляции цепей постоянного тока.

Схема реле и размеры аналогичны реле типа ЭН-524.

Исполнения реле серии ЭН-520 *Таблица 3-9*

Тип реле	Количество контактов		Пределы $U_{ср}$, *в*	Параллельное соединение обмоток, пределы, *в*		Последовательное соединение обмоток, пределы, *в*		$P_{потр}$, *ва*
	замыкающих	размыкающих		$U_{ср}$	$U_{длит}$	$U_{ср}$,	$U_{длит}$	
ЭН-524/60	1	—	15—60	15—30	35	30—60	70	1 *ва* при напряжении минимальной уставки
ЭН-524/200	1	—	50—200	50—100	110	100—200	220	
ЭН-524/400	1	—	100—400	100—200	220	200—400	440	
ЭН-526/60	1	1	15—60	15—30	35	30—60	70	
ЭН-526/200	1	1	50—200	50—100	110	100—200	220	
ЭН-526/400	1	1	100—400	100—200	220	200—400	440	
ЭН-526/60Д	1	1	15—60	15—30	120	30—60	240	1,2 *ва* при 30 *в*
ЭН-526/60Д-М	1	1	15—60	15—30	110	30—60	220	
ЭН-528/48	—	1	12—48	12—24	35	24—48	70	1 *ва* при напряжении минимальной уставки
ЭН-528/160	—	1	40—160	40—80	110	80—160	220	
ЭН-528/320	—	1	80—320	80—160	220	160—320	440	
ЭН-529/48	1	1	12—48	12—24	35	24—48	70	
ЭН-529/160	1	1	40—160	40—80	110	80—160	220	
ЭН-529/320	1	1	80—320	80—160	220	160—320	440	

Технические данные реле серии ЭН-520 для частоты 50 *гц* *Таблица 3-10*

<table>
<tr><td>Тип реле</td><td colspan="3">ЭН-524 и ЭН-526</td><td colspan="2">ЭН-528, ЭН-529</td></tr>
<tr><td>Регулировка реле</td><td colspan="3">На повышение напряжения</td><td colspan="2">На понижение напряжения</td></tr>
<tr><td>$k_в$</td><td colspan="3">Не менее 0,85</td><td colspan="2">Не более 1,25</td></tr>
<tr><td rowspan="2">$t_{ср}$, *сек*</td><td>1,2$U_{ср}$</td><td colspan="2">0,15</td><td rowspan="2">0,8$U_{ср}$</td><td rowspan="2">0,15</td></tr>
<tr><td>2$U_{ср}$</td><td colspan="2">0,03</td></tr>
<tr><td>$P_{конт.разр}$ при $U \leqslant 220$ *в* и $I \leqslant 2$ *а*: в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой, *вт*
в цепи переменного тока, *ва*</td><td colspan="5">50
250</td></tr>
<tr><td>Электрическая прочность изоляции обмотки и контактной системы реле переменному току 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*</td><td colspan="5">2 000</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Число витков, марка и диаметр провода</td><td>ЭН-524/60
ЭН-526/60</td><td>Внутренняя</td><td colspan="3">2×250 ПЭЛ 0,15</td></tr>
<tr><td>ЭН-528/48
ЭН-529/48</td><td>Наружная</td><td colspan="3">2×735 ПШДК 0,3</td></tr>
<tr><td>ЭН-524/200
ЭН-526/200</td><td>Внутренняя</td><td colspan="3">2×1 285 ПЭЛ 0,08</td></tr>
<tr><td>ЭН-528/160
ЭН-529/160</td><td>Наружная</td><td colspan="3">2×1 885 ПШДК 0,15</td></tr>
<tr><td>ЭН-524/400
ЭН-526/400</td><td>Внутренняя</td><td colspan="3">2×3 100 ПЭЛ 0,07</td></tr>
<tr><td>ЭН-528/320
ЭН-529-320</td><td>Наружная</td><td colspan="3">2×2 730 ПШДК 0,1</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вес реле, *кг*</td><td colspan="4">1,4</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вес ВУ-67, *кг*</td><td colspan="4">0,4</td></tr>
</table>

Таблица 3-11

Исполнение реле ЭН-524М

Тип реле	Последовательное соединение обмоток			Параллельное соединение обмоток		
	$U_{ср}$, *в*	$U_{ном}$, *в*	$z_р$, *ом*	$U_{ср}$, *в*	$U_{ном}$, *в*	$z_р$, *ом*
ЭН-524-М34	6,4	60	2 000	3,2	30	500
ЭН-524/М56	1,4	8	40	0,7	4	10
ЭН-524/М78	32	100	15 000	16	50	3 750

Таблица 3-12

Технические данные реле ЭН-524М

$t_{ср}$ при $1{,}2U_{ср}$, *сек*	0,25
$k_в$	Не менее 0,5
$P_{конт.разр}$ при $U \leqslant 220$ *в* и $I \leqslant 2$ *а*: в цепи постоянного тока, *вт*	50
в цепи переменного тока, *ва*	250
Вес реле, *кг*	1,4

3-7. РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ТРЕХФАЗНОЕ ТИПА ЭН-531

Реле применяется в различных схемах защиты и автоматики в качестве органа, реагирующего на обрыв одной или двух фаз.

Схема и размеры аналогичны реле серии ЭН-520.

Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

У реле на одном магнитопроводе расположены три одинаковые обмотки (рис. 3-11), каждая из которых включается на фазное напряжение трехфазной системы.

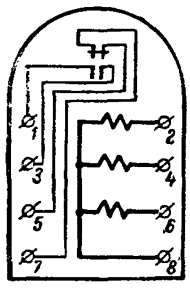


Рис. 3-11. Схема внутренних соединений реле типа ЭН-531.

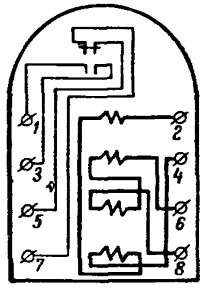


Рис. 3-12. Схема внутренних соединений реле типа ЭН-535.

Если в трехфазной системе отсутствует напряжение нулевой последовательности, то суммарный магнитный поток, создаваемый обмотками, равен нулю. При обрыве одной или двух фаз симметрия нарушается и реле срабатывает.

Таблица 3-13

Технические данные реле ЭН-531

Наименование параметра	Величины
$U_{ном}$ (линейное), *в*	100
$U_{ср}$ (соответствует линейному напряжению срабатывания при обрыве одной фазы, т. е. при подведении напряжения двух фаз по схеме фаза—фаза)	40—80
$P_{потр}$ обмотки каждой фазы при 60 *в* фазных, *ва*	~1,5
$P_{конт.разр}$ при $U \leqslant 220$ *в* и $I \leqslant 2$ *а*: в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*), *вт*	50
в цепи переменного тока, *ва*	250
$k_в$	0,8
Вес реле, *кг*	1,1

3-8. РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ТИПА ЭН-535

Реле применяется в схемах АПВ линий с двусторонним питанием для контроля наличия напряжения на линии и угла сдвига фаз между векторами напряжения линии и шин подстанции.

Реле выполнено на электромагнитной системе реле ЭН-520, имеет две обмотки. Каждая обмотка состоит из двух полуобмоток, расположенных на верхнем и нижнем полюсах и соединенных последовательно. Схема внутренних соединений реле дана на рис. 3-12. Реле реагирует на геометрическую разность векторов напряжений, подведенных к зажимам *2-4* и *6-8*. При неизменной величине напряжений уставка пропорциональна углу между векторами напряжений.

Изменение уставки производится поводком, изменяющим затяжку пружины реле. Шкала реле проградуирована в градусах. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты. Размеры реле такие же, как и реле ЭН-520.

Таблица 3-14

Исполнение реле ЭН-535

Тип реле	Обмотки реле	$U_{ном}$, *в*	Номера зажимов
ЭН-535/90	I	60	*2-4*
	II	30	*6-8*
ЭН-535/120	I	60	*2-4*
	II	60	*6-8*
ЭН-535/130	I	100	*2-4*
	II	30	*6-8*
ЭН-535/160	I	100	*2-4*
	II	60	*6-8*
ЭН-535/200	I	100	*2-4*
	II	100	*6-8*

Таблица 3-15

Технические данные реле ЭН-535

Наименование параметра	Величина
$f_{ном}$, *гц* (по специальному заказу изготавливаются на частоту 60 *гц*)	50
Пределы изменения уставок при $U_{ном}$, *град*	20—40°
$k_в$ по углу при $U_{ном}$, не менее	0,8
$P_{потр}$ каждой обмоткой при $U_{ном}$, *ва*	~3
$P_{конт.разр}$ при $U \leqslant 220$ *в* и $I \leqslant 2$ *а*: в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*), *вт*	50
в цепи переменного тока, *ва*	250
Вес реле, *кг*	1,4

3-9. РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА ЗАВИСИМОЕ ТИПОВ ИТ-80, РТ-80, РТ-90

Реле применяется в схемах защиты электрических машин, трансформаторов и линий электропередач от перегрузок и коротких замыканий.

Реле состоит из индукционного и электромагнитного элементов (рис. 3-13).

Индукционный элемент, имеющий зависимую от тока выдержку времени, состоит из магнитной системы *1* с короткозамкнутыми витками *2*, алюминиевого диска *3*, установленного на подвижной раме *4*, пружины *5*, которая при токах, меньших тока срабатывания, оттягивая раму, препятствует зацеплению червяка *7* с сектором *8*. Червяк начинает вращаться вместе с диском при токе, равном 20—30% тока срабатывания. При токе срабатывания рама *4*, поворачиваясь, вводит червяк *7* в зацепление с сектором *8*, который, поднимаясь, толкает рычаг *9*, укрепленный на якоре электромагнита *10* и замыкает контакты *12*.

Кроме того, индукционный элемент включает в себя стальную скобу *11*, винт регулировки выдержки времени *13*, указатель времени действия *20*, устройство регулировки тока срабатывания *15*, ограничительный винт *17*.

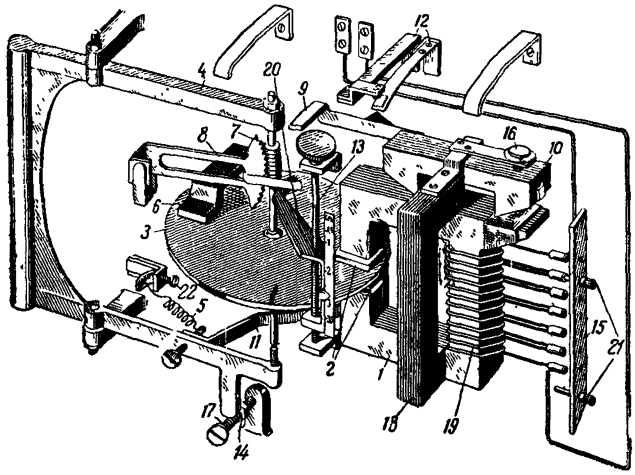


Рис 3-13. Устройство реле типа ИТ-80.

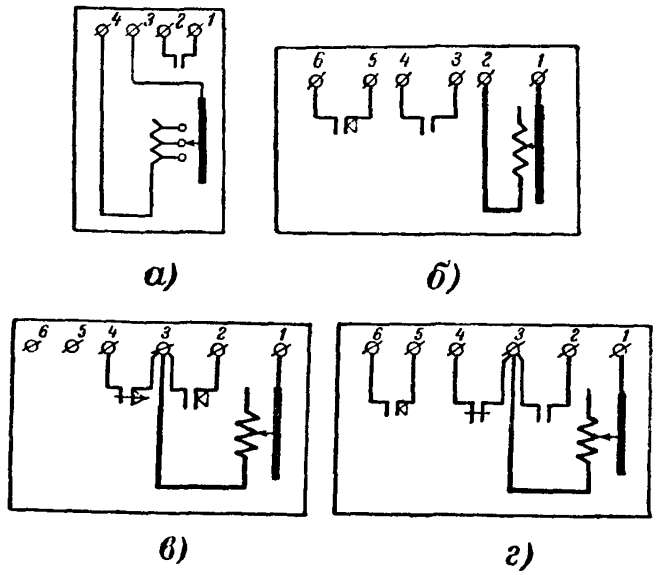


Рис. 3-14. Схема внутренних соединений реле ИТ-80.
а — реле ИТ-81, ИТ-82, РТ-81, РТ-82, РТ-91; *б* — реле ИТ-83, ИТ-84, РТ-83, РТ-84; *в* — реле ИТ-85, РТ-85, РТ-95; *г* — реле ИТ-86, РТ-86.

Электромагнитный элемент (отсечка) состоит из магнитопровода *1*, якоря *10* и винта *16* для регулировки тока срабатывания отсечки.

Реле имеет механический указатель срабатывания.

Схема внутренних соединений реле дана на рис. 3-14.

Реле типов РТ-80, РТ-81, РТ-82, РТ-83, РТ-84, РТ-85 и РТ-86 выполнены на основе реле серии ИТ-80, но имеют несколько измененную конструкцию узла *отсечки*, что обеспечивает большую стабильность уставки отсечки.

В подвижной системе реле серии РТ-80 в качестве опор применены не шарики, как в реле серии ИТ-80, а миниатюрные радиально-упорные шарикоподшипники, уменьшающие трение, а следовательно, и износ подшипников.

Благодаря этому в реле серии РТ-80 снизился и стал более стабильным ток начала вращения диска по сравнению с реле серии ИТ-80.

Потребляемая мощность реле при токе срабатывания на любой уставке не более 10 *ва*. Исполнения реле по токам срабатывания, характеристикам выдержек времени и схемам внутренних соединений такие же, как у соответствующих типов реле серии ИТ-80.

Реле типов ИТ-81, ИТ-82, РТ-81, РТ-82 имеют один контакт, действующий мгновенно от отсечки и с выдержкой времени от индукционного элемента. Контакт может быть использован как замыкающий или размыкающий.

Реле типов ИТ-83, ИТ-84, РТ-83, РТ-84 имеют два контакта. Главные контакты такие же, как у реле ИТ-81, а сигнальные замыкающие контакты замыкаются при срабатывании индукционного элемента.

Реле типов ИТ-85, ИТ-86, РТ-85, РТ-86 предназначены для защиты на оперативном переменном токе, имеют усиленные замыкающие и размыкающие контакты, переключающиеся без разрыва цепи.

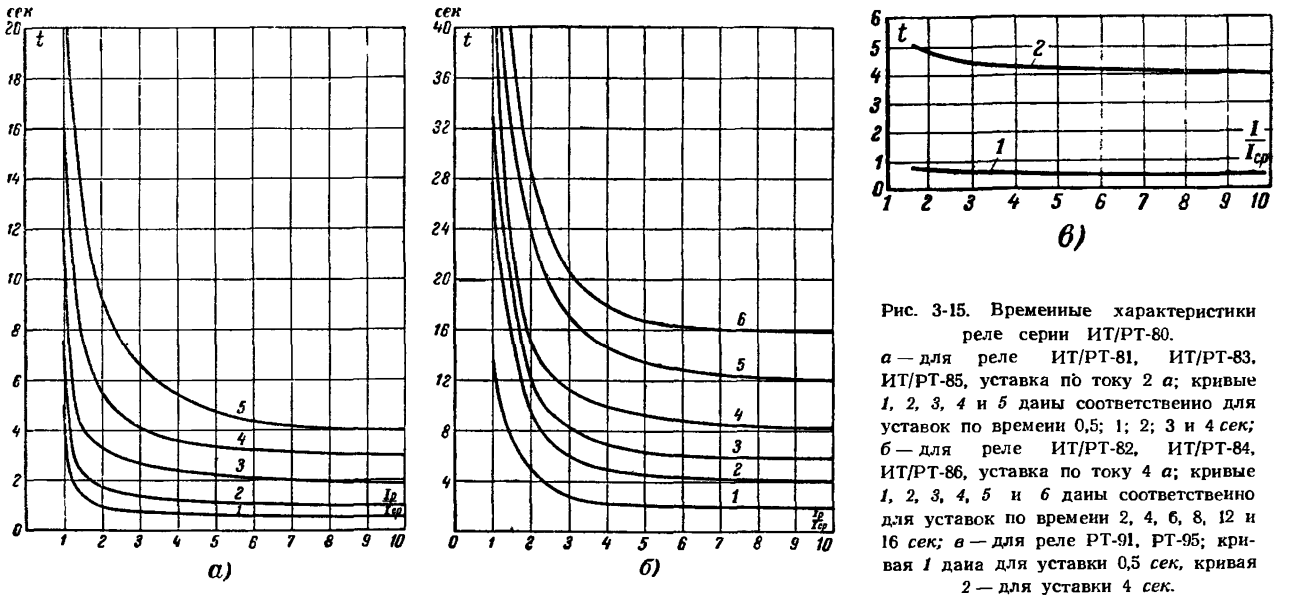


Рис. 3-15. Временные характеристики реле серии ИТ/РТ-80.
а — для реле ИТ/РТ-81, ИТ/РТ-83, ИТ/РТ-85, уставка по току 2 *а*; кривые *1, 2, 3, 4* и *5* даны соответственно для уставок по времени 0,5; 1; 2; 3 и 4 *сек*; *б* — для реле ИТ/РТ-82, ИТ/РТ-84, ИТ/РТ-86, уставка по току 4 *а*; кривые *1, 2, 3, 4, 5* и *6* даны соответственно для уставок по времени 2, 4, 6, 8, 12 и 16 *сек*; *в* — для реле РТ-91, РТ-95; кривая *1* дана для уставки 0,5 *сек*, кривая *2* — для уставки 4 *сек*.

Реле ИТ-86, РТ-86 имеют, кроме главных, еще один замыкающий контакт.

Таблица 3-16

Исполнение реле серий ИТ-80, РТ-80, РТ-90

Типы и исполнения реле	$I_{ном}$, *а*	Уставки	
		$I_{ср}$ индукционного элемента, *а*	$t_{ср}$ в независимой части характеристики, *сек*
ИТ-81Б/1, ИТ-81Б/1У, РТ-81/1У, РТ-81/1, ИТ-85/1, РТ-85/1, РТ-91/1, РТ-95/1	10	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	0,5—4
ИТ-83/1, РТ-83/1			1—4
ИТ-82Б/1, РТ-82/1, ИТ-82Б/1У, РТ-82/1У			2—16
ИТ-84/1, ИТ-86/1, РТ-84/1, РТ-86/1			4—16
ИТ-81Б/2, ИТ-81Б/2У, ИТ-85/2, РТ-81/2, РТ-81/2У, РТ-85/2, РТ-91/2, РТ-95/2	5	2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5	0,5—4
ИТ-83/2, РТ-83/2			1—4
ИТ-82Б/2, РТ-82/2, ИТ-82Б/2У, РТ-82/2У			2—16
ИТ-84/2, РТ-84/2, ИТ-86/2, РТ-86/2			4—16

Примечания: 1. Исполнения с буквой У предназначены для утопленного монтажа.
2. $I_{ср}$ отсечки составляет 2—8 $I_{ср}$ индукционного элемента.

Реле типов РТ-91, РТ-95 имеют малозависимую выдержку времени от тока. Реле РТ-91 имеет главный контакт, аналогичный по конструкции и техническим данным контакту реле типа РТ-81. Реле РТ-95 имеет усиленные контакты и предназначено для работы на переменном оперативном токе.

Габаритные и установочные размеры реле даны на рис. 3-16.

Индукционный элемент имеет зависимую от тока выдержку времени (рис. 3-15).

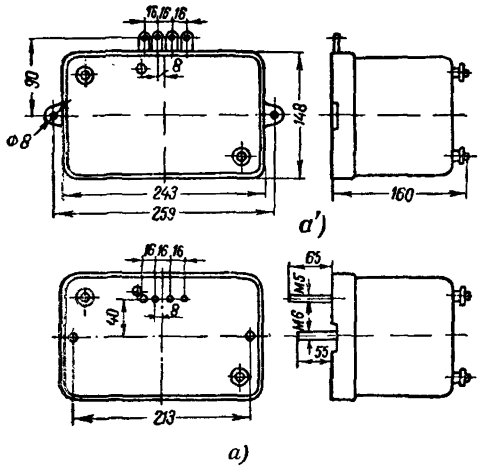
Таблица 3-17

Технические данные реле серий ИТ-80, РТ-80, РТ-90

Наименование параметра	Величины
$P_{потр}$ при $I_{ср}$ индукционного элемента, *ва*	25 (РТ-90) 10 (ИТ-80, РТ-80)
Термическая устойчивость: $I_{длит}$ $I_{1сек}$	 $1{,}4I_{ном}$ $40I_{ном}$
$k_в$, не ниже	0,8
$P_{конт}$: а) Главные замыкающие контакты реле типов ИТ-81Б, РТ-81, ИТ-82Б, РТ-82, ИТ-83, РТ-33, ИТ-84, РТ-91 на замыкание и размыкание постоянного и переменного тока при напряжении до 220 *в*, *а*. При оперативном переменном токе от трансформаторов тока и сопротивлении нагрузки не более 4 *ом* при токе 4 *а* контакты указанных реле способны дешунтировать ток до величины, *а*	5 50

Продолжение табл. 3-17

Наименование параметра	Величины
б) Главные контакты реле типов ИТ-85, РТ-85, ИТ-86, РТ-86, РТ-95 при сопротивлении нагрузки не более 4,5 *ом* при токе 3,5—5 *а* способны шунтировать и дешунтировать ток до величины, *а*	150
в) Сигнальные контакты реле типов ИТ-83, РТ-83, ИТ-84, РТ-84, ИТ-86, РТ-86 на замыкание и размыкание при напряжении до 220 *в*:	
постоянного тока, *а*	0,2
переменного тока, *а*	1,0
Электрическая прочность изоляции обмоток и контактных систем переменному току 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000
Число витков, марка и диаметр провода ИТ-81/1, РТ-81/1, ИТ-82/1, РТ-82/1	60 ПБД-1,81
ИТ-81/2, РТ-81/2, ИТ-82/2, РТ-82/2	120 ПБД-1,45
Вес реле, *кг*	3,7



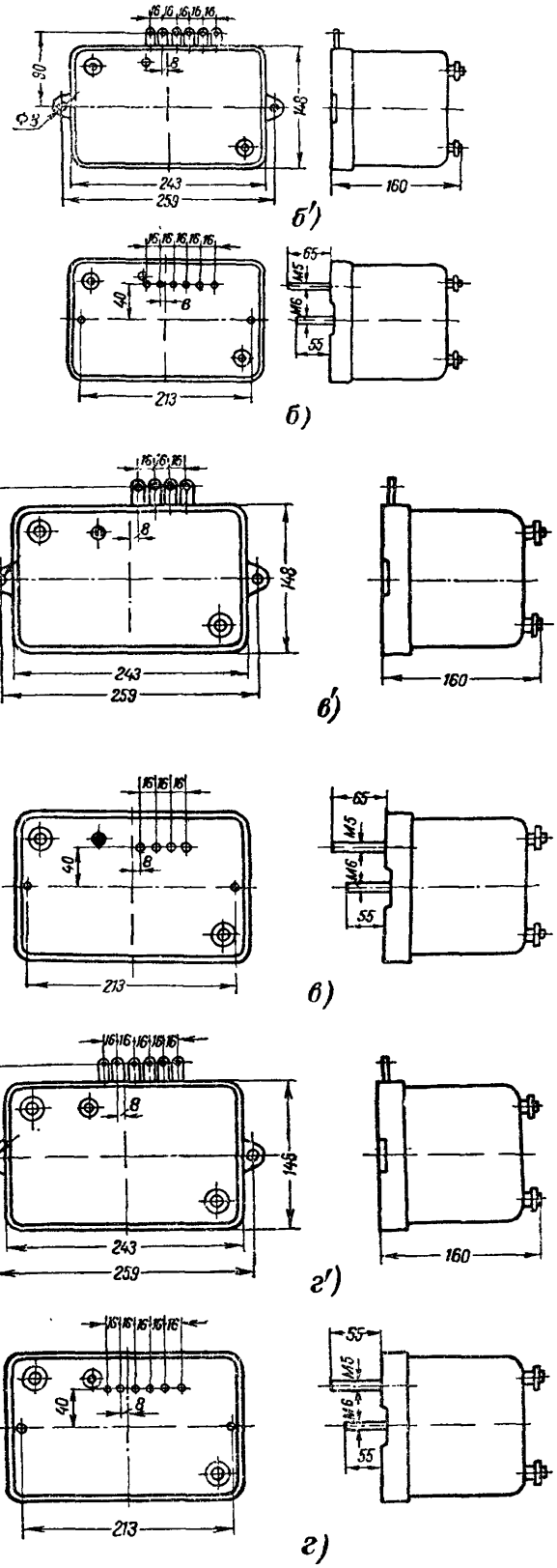


Рис. 3-16. Размеры реле ИТ-80, РТ-80, РТ-90.
а, *а'* — реле ИТ-81, ИТ-82, РТ-81, РТ-82, РТ-91; *б*, *б'*—реле ИТ-83, ИТ-84, РТ-83, РТ-84; *в*, *в'* — реле ИТ-85 РТ-85, РТ-95; *г*, *г'* — реле ИТ-86, РТ-86 (*а*, *б*, *в*, *г* — заднее присоединение; *а'*, *б'*, *в'*, *г'* — переднее присоединение).

3-10. ТОКОВОЕ БАЛАНСНОЕ РЕЛЕ ТИПА ИТБ-201А

Реле применяется в схемах быстродействующей балансной защиты двух параллельных линий электропередач от междуфазных и однофазных коротких замыканий.

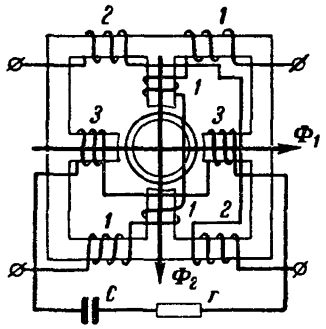


Рис. 3-17. Схема магнитной системы и токовых обмоток реле типа ИТБ-201А.

Принцип действия реле основан на сравнении величин токов одноименных фаз в двух параллельных линиях.

Конструктивно реле выполнено на индукционной

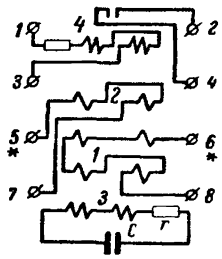


Рис. 3-18. Схема внутренних соединений обмоток и выводов реле ИТБ-201А.

четырехполюсной магнитной системе с алюминиевым ротором, в дополнение к которой имеется электромагнитный элемент. Схема магнитопровода и токовых об-

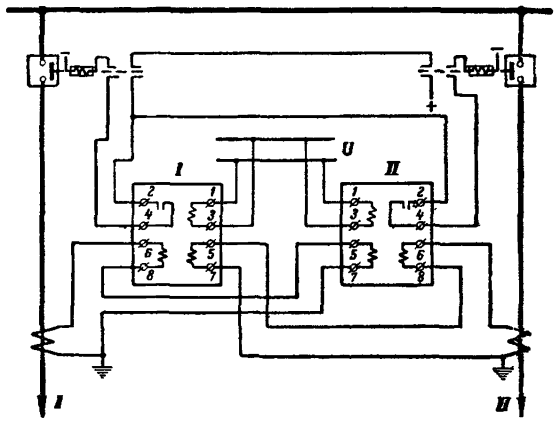
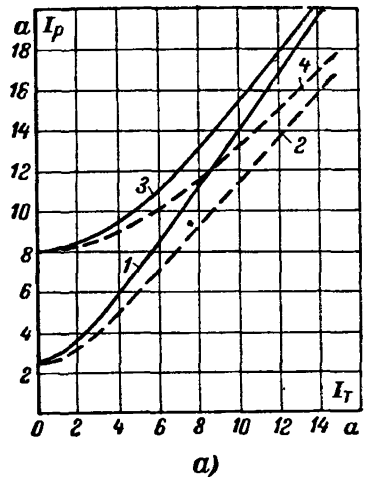
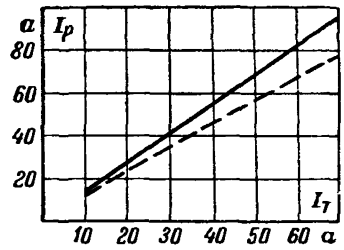


Рис. 3-19. Схема включения балансных реле ИТБ-201А (для одной фазы).



а)



б)

Рис. 3-20. Тормозные характеристики реле ИТБ-201А.

а — для токов $I_р$ до 20 *а*; *б* — для токов $I_р$ до 100 *а*; *1* — $U_{уд} = 0$; *2* — $U_{уд} = 0$; *3* — $U_{уд} = 100$ *в*; *4* — $U_{уд} = 100$ *в*; ——— — $I_р$ и $I_т$ в фазе; — — — — $I_р$ и $I_т$ в противофазе $DI_р > 20$ *а* кривые одинаковы для $U_{уд}$=0 и $U_{уд}$=100 *в*.

моток реле приведена на рис. 3-17, схема внутренних соединений и выводов — на рис. 3-18.

Реле имеет две токовые обмотки: рабочую *1* (зажимы *6-8*) и тормозную *2* (зажимы *5-7*).

Элементы рабочей и тормозной обмоток расположены и включены так, что создаваемый ими магнитный поток $Ф_1$ пропорционален геометрической разности, а магнитный поток $Ф_2$ — геометрической сумме намагничивающих сил, создаваемых рабочей и тормозной обмотками.

Обмотка *3*, замкнутая на контур из конденсатора *C* и сопротивления *r*, обеспечивает сдвиг фаз между потоками $Ф_1$ и $Ф_2$, близкий к 90°.

На оси реле выше индукционной системы имеется стальной якорь, расположенный горизонтально. Якорь может притягиваться к полюсам электромагнита, имеющего удерживающую обмотку напряжения *4* (рис. 3-18).

Схема включения балансных реле для одной фазы линии показана на рис. 3-19.

Число витков рабочей, тормозной удерживающей обмоток и обмотки *3* подобраны, расположены и включены так, что в нормальном режиме и при сквозном коротком замыкании результирующее действие на подвижную систему реле направлено в сторону размыкания контактов. При коротком замыкании на одной из линий ток в рабочей обмотке реле поврежденной линии

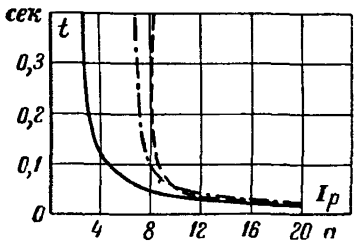


Рис. 3-21. Зависимость времени срабатывания реле ИТБ-201А от рабочего тока.
——— $I_т = 0$, $U_{уд} = 0$; — — — $I_т = 0$, $U_{уд} = 100$ *в*; — · — · — $I_т = I_н$, $U_{уд} = 0$.

оказывается больше тока в тормозной обмотке. Если превышение тока в рабочей обмотке окажется выше заданной величины, определяемой характеристикой реле, то последнее срабатывает и отключит поврежденную линию.

На неповрежденной линии в то же время ток в рабочей обмотке меньше, чем в тормозной, и реле не срабатывает.

Защита с реле ИТБ-201А имеет процентно-дифференциальную характеристику, при которой с увеличением сквозного тока короткого замыкания или нагрузки увеличивается ток срабатывания.

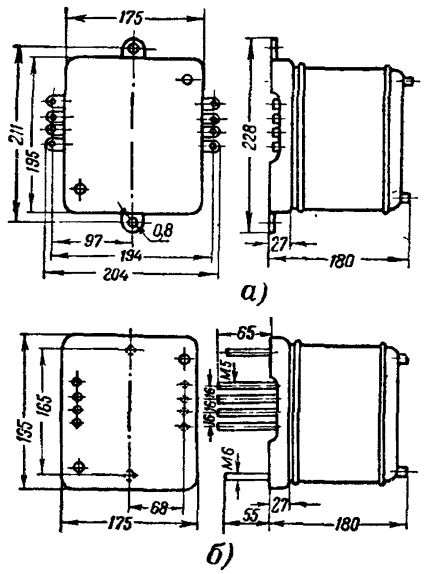


Рис. 3 22. Размеры реле ИТБ-201А.
а — для переднего присоединения; *б* — для заднего присоединения.

На рис. 3-20 приведены тормозные характеристики реле — зависимость тока срабатывания в рабочей обмотке реле от тока в тормозной обмотке, а на рис. 3-21 — зависимость времени срабатывания от рабочего тока. Габаритные и установочные размеры даны на рис. 3-22.

Таблица 3-18

Технические данные реле ИТБ-201

Наименование параметра	Величина
$I_{ном}$, *а*:	
ИТБ-201А/1	5
ИТБ-201А/2	1
$U_{ном}$, *в*	100
$f_{ном}$, *гц*	50
$I_{ср}$, *а*:	
($I_т = 0$) $U_{уд} = 0$ ИТБ-201А/1	2,5
ИТБ-201А/2	0,5
$U_{уд} = 100$ *в* ИТБ-201А/1	7—9
ИТБ-201А/2	1,4—1,8
$P_{потр}$, *ва*;	
каждой токовой цепью при $I_н$	2
цепью напряжения при 100 *в*	5
Термическая устойчивость обмоток реле:	
$I_{длит}$	5,5
$I_{1сек}$	250
$U_{длит}$, *в*	110
$P_{конт.разр.}$ в цепи постоянного тока с индуктивной разгрузкой ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*) при напряжении 220 *в* и токе не более 2 *а*, *вт*	50
Однополярные зажимы цепей тока	*5* и *6*
Вес реле, *кг*	5,3

3-11. РЕЛЕ МОЩНОСТИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ СЕРИЙ РБМ-170, РБМ-270 и РБМ-01

Реле применяются в качестве органов направления мощности в схемах направленных защит.

Реле, выполненное на индукционной системе с цилиндрическим ротором, имеет замкнутый магнитопровод *1* с выступающими внутрь полюсами (рис. 3-23). Между полюсами расположен стальной цилиндр *2*, по-

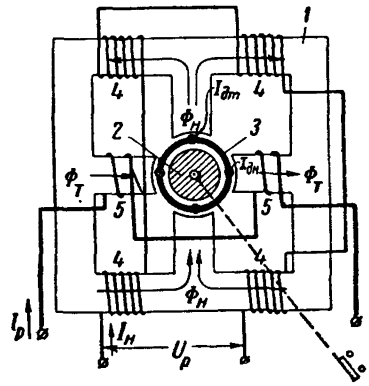


Рис. 3-23. Принципиальная схема реле мощности с цилиндрическим ротором.

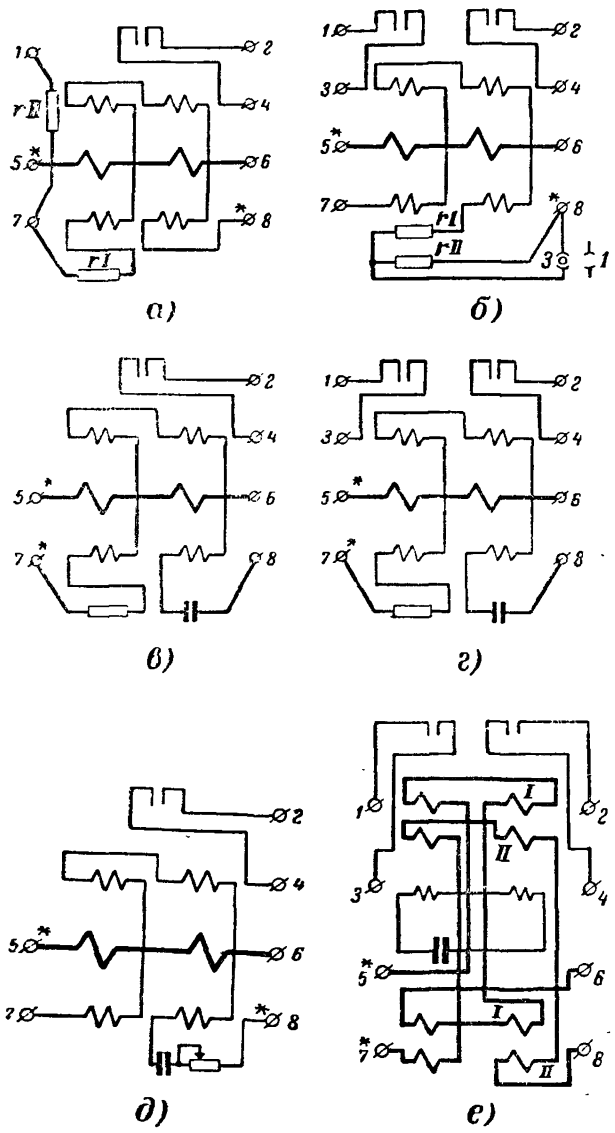


Рис. 3-24. Схема внутренних соединений реле мощности серии РБМ.
а—реле РБМ-171/1 и РБМ-171/2; *б* — реле РБМ-271/1 и РБМ-271/2; *в* — реле РБМ-177/1, РБМ-177/2, РБМ-178/1 и РБМ-178/2; *г* — реле РБМ-277/1, РБМ-277/2, РБМ-278/1 и РБМ-278/2; *д* — реле РБМ—01; *е* — реле РБМ-272.

вышающий магнитную проницаемость междуполюсного пространства, и алюминиевый цилиндр *3*, который может вращаться в зазоре между стальным сердечником и полюсами. Обмотка *4* питается напряжением $U_р$, а обмотка *5* — током $I_р$. Вращающий момент на реле:

$$M_{вр} = kU_р I_р \cos(\varphi_р + \alpha),$$

где $\varphi_р$ — угол между током $I_р$ и напряжением $U_р$; α — дополнительный угол, дополняющий до 90° угол между током и напряжением в цепи обмотки напряжения реле. Угол $\varphi_р = -\alpha$ называется углом максимальной чувствительности реле $\varphi_{м.ч}$, при этом момент на реле достигает максимальной величины:

$$M_{вр} = kU_р I_р.$$

Схема электрических соединений реле приведена на рис. 3-24.

Реле мощности типа РБМ-272 имеет две токовые обмотки, расположенные на магнитопроводе, и одну обмотку на полюсах, замкнутую на конденсатор, которая обеспечивает сдвиг потоков от токовых обмоток на угол, близкий к 90°. Реле предназначено для применения в схемах защит от замыкания на землю в тех случаях, когда защищаемая линия не имеет трансформатора напряжения. Поэтому одна токовая обмотка включается на ток $3I_0$ линии, а другая — на ток $3I_0$ нейтрали трансформатора.

Реле типов РМБ-171, РМБ-177, РБМ-178 и РМБ-01 имеют по одному замыкающему контакту. Спиральная

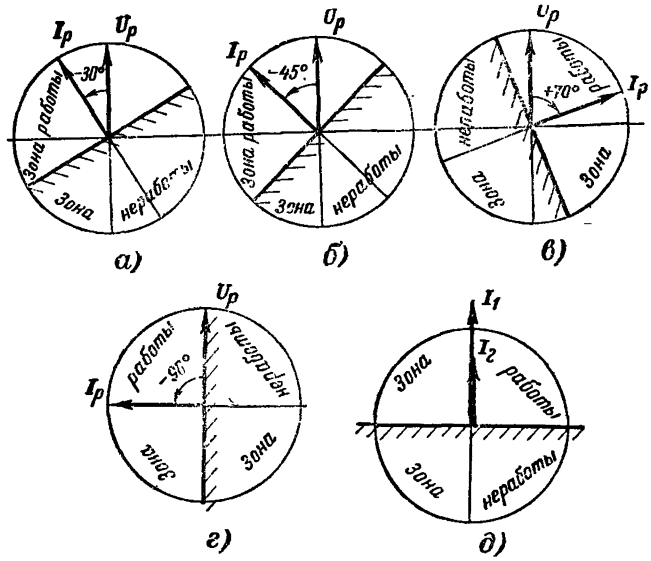


Рис. 3-25. Зоны работы реле РБМ.
а — $\varphi_{м.ч} = -30°$ (РБМ-171, РБМ-271); *б* — $\varphi_{м.ч} = -45°$ (РБМ-171, РБМ-271); *в* — $\varphi_{м.ч} = +70°$ (РБМ-177, РБМ-173, РБМ-277, РБМ-278); *г* — $\varphi_{м.ч} = -90°$ (РБМ-01); *д* — $\varphi_{м.ч} = 0°$ (РБМ-272).

возвратная пружина служит также токопроводом. Изменением натяжения пружины регулируется мощность срабатывания реле.

Реле типов РБМ-271, РБМ-277, РБМ-272 и РБМ-278 имеют по два замыкающих контакта (без общей точки). При отсутствии электрического момента подвижные контакты останавливаются в нейтральном положении под действием равных и противоположно направленных усилий двух спиральных пружин.

Реле типа РБМ имеют металлокерамические неподвижные контакты, конструкция их выполнена так, что при ударе подвижного контакта о неподвижный кинетическая энергия расходуется на трение, что уменьшает вибрацию контактов при их замыкании.

Зоны работы реле РБМ приведены на рис. 3-25.

Габаритные и установочные размеры реле приведены на рис. 3-26.

3-12. РЕЛЕ МОЩНОСТИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ ТИПОВ ИМБ-171 и ИМБ-178А

Реле применяются в качестве органов направления мощности в схемах направленных защит.

Принцип действия и конструктивное выполнение аналогичны реле серии РБМ-170.

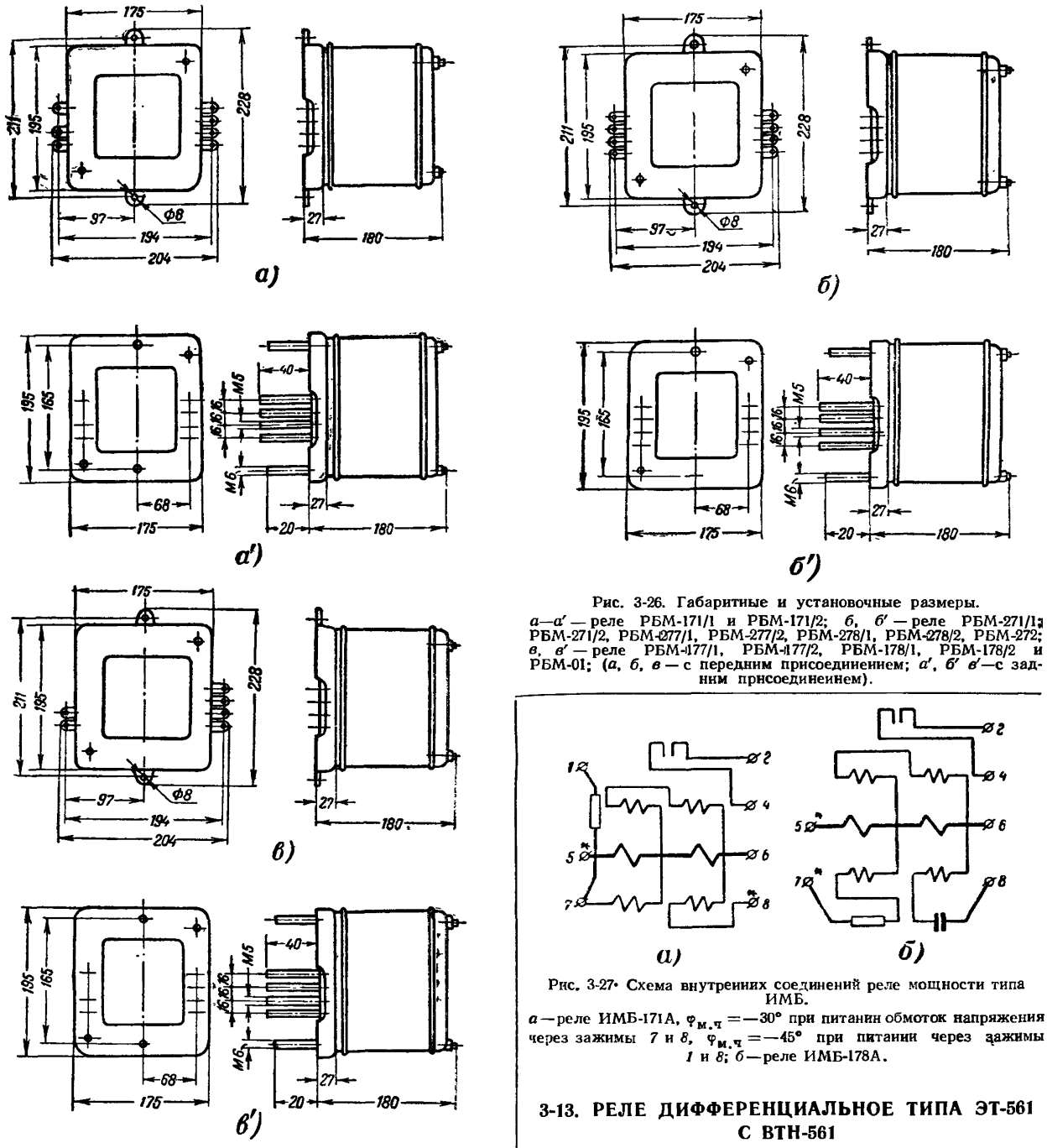


Рис. 3-26. Габаритные и установочные размеры.
а—а' — реле РБМ-171/1 и РБМ-171/2; *б, б'* — реле РБМ-271/1, РБМ-271/2, РБМ-277/1, РБМ-277/2, РБМ-278/1, РБМ-278/2, РБМ-272; *в, в'* — реле РБМ-177/1, РБМ-177/2, РБМ-178/1, РБМ-178/2 и РБМ-01; (*а, б, в* — с передним присоединением; *а', б' в'*—с задним присоединением).

Рис. 3-27. Схема внутренних соединений реле мощности типа ИМБ.
а—реле ИМБ-171А, $\varphi_{м.ч} = -30°$ при питании обмоток напряжения через зажимы *7* и *8*, $\varphi_{м.ч} = -45°$ при питании через зажимы *1* и *8*; *б*—реле ИМБ-178А.

Реле ИМБ-171А и ИМБ-178А имеют по одному замыкающему контакту.

Схема электрических соединений приведена на рис. 3-27.

Внешний вид и размеры реле для ИМБ-171А такие же, как для реле РБМ на рис. 3-26,*а* и *а'*, а для реле ИМБ-178А, как для реле РБМ на рис. 3-26,*в* и *в'*.

Угловые характеристики реле аналогичны приведенным для реле типа РБМ.

3-13. РЕЛЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ТИПА ЭТ-561 С ВТН-561

Реле применяется в схемах дифференциальных защит силовых трансформаторов, генераторов и шин. Для отстройки от апериодических составляющих тока намагничивания и тока небаланса реле включается через вспомогательный быстронасыщающийся трансформатор ВТН-561, который поставляется комплектно.

Реле ЭТ-561 выполнено на базе реле ЭТ-520, за исключением указателя регулировки уставки, который отсутствует. Катушки реле соединены параллельно; реле имеет один замыкающий контакт.

Таблица 3-19

Исполнения реле серии РБМ-170—РБМ-270, РБМ-01

Тип реле	$I_{ном}$, *а*	Количество контактов	$\varphi_{м.ч}$
РБМ-171/1 РБМ-171/2	5 1	1 замыкающий	$-30 \pm 5°$ (зажимы напряжения *7-8*) или $-45 \mp 5°$ (зажимы напряжения *1-8*) (ток опережает напряжение)
РБМ-271/1 РБМ-271/2	5 1	2 замыкающих	$-30 \pm 5°$ (штепсель в гнезде *3*) $-45 \mp 5°$ (штепсель в гнезде *1*)
РБМ-177/1 РБМ-177/1 РБМ-178/1 РБМ-178/2	5 1 5 1	1 замыкающий	$+75 \pm 5°$ (ток отстает от напряжения)
РБМ-277/1 РБМ-277/2 РБМ-278/1 РБМ-278/2	5 1 5 1	2 замыкающих	
РБМ-272	5		от -10 до $+10°$
РБМ-01	1	1 замыкающий	$-90 \pm 5°$ (ток опережает напряжение)

Примечание. Реле РБМ-271, РБМ-272, РБМ-277 и РБМ-278 имеют замыкающие контакты двустороннего действия без общей точки.

Трансформатор ВТН (рис. 3-28) имеет три обмотки: дифференциальную (*01—02*), выравнивающую (*03—04*) и вторичную (*09—08*). Дифференциальная и выравнивающие обмотки имеют отпайки, выведенные к специальным гнездам на панельки ВТН, на которых при помощи винтов можно включать различное число витков — на дифференциальной обмотке 10—40, а на выравнивающей 1—40 через один виток.

Изменением числа витков первичной обмотки изменяется ток срабатывания реле. Включение выравнивающей обмотки может быть использовано:

а) для выравнивания вторичных токов в схемах дифференциальной защиты силовых трансформаторов;

б) для увеличения диапазона токов срабатывания защиты — включается вместо дифференциальной обмотки или последовательно с ней.

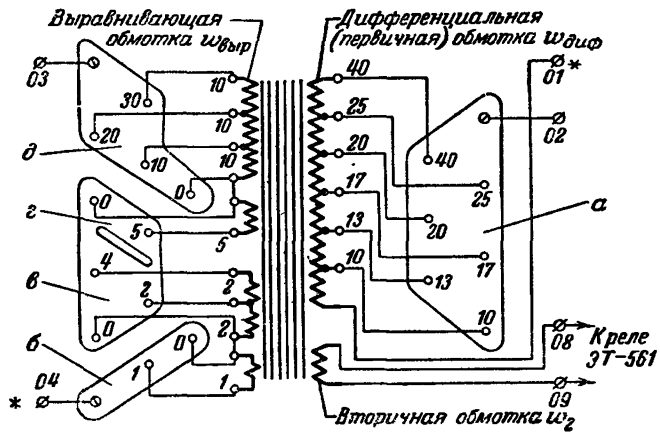


Рис. 3-28. Схема внутренних соединений трансформатора ВТН-561.

Отстройка от апериодической составляющей тока намагничивания и тока небаланса при сквозных коротких замыканиях основана на том, что трансформация апериодической составляющей во вторичную обмотку ВТН осуществляется в очень малой степени из-за небольшого изменения индукции при работе ВТН в режиме насыщения.

При коротком замыкании в зоне действия защиты постоянная составляющая практически отсутствует,

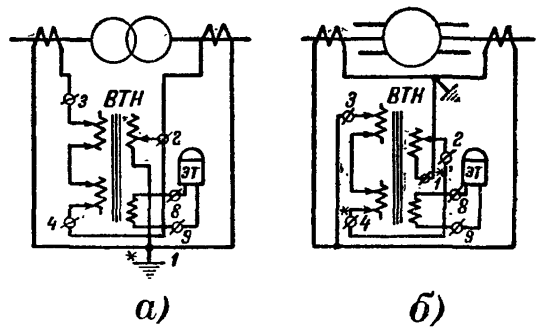


Рис. 3-29. Включение реле ЭТ-561 и ВТН-561 в схемах дифференциальных защит.
а — трансформатора; *б* — генератора (или шин).

в первичной обмотке ВТН протекает синусоидальный переменный ток, который дает изменение индукции в больших пределах, и ток в реле получается достаточный для срабатывания.

Схема включения реле ЭТ-561 с ВТН-561 в схеме дифференциальной защиты трансформатора и генератора приведена на рис. 3-29, габаритные и установочные размеры ВТН-561 — на рис. 3-30.

Таблица 3-20

Технические данные реле серий РБМ-170, РБМ-270, РБМ-01.

Тип реле	РБМ-171/1 РВМ-271/1	РМБ-171/2 РБМ-271/2	РБМ-177/1 РБМ-178/1 РБМ-277/1 РБМ-278/1	РБМ-177/2 РБМ-178/2 РБМ-277/2 РБМ-278/2	РБМ-01	РБМ-272
$U_{ном}$, *в*	100		100		100	—
$f_{ном}$, *гц*	50		50		50	
$I_{ном}$, *а*	5	1	5	1	1	5
$P_{ср}$ (чувствительность при $\varphi_{м.ч}$) и $I_{ном}$, *ва*	При $\varphi_{м.ч} = -30°$		$\varphi_{м.ч} = 70°$		$\varphi_{м.ч} = -90°$	$\varphi_{м.ч} = -10 + 10°$
	3	0,6	1 (РБМ-178/1, РБМ-278/1)	0,2 (РБМ-178/2, РБМ-278/2)	0,5 при токе 0,3 *а*	0,4 *а*[2]
	При $\varphi_{м.ч} = -45°$		3 (РБМ-177/1, РБМ-277/1)	0,6 (РБМ-177/2, РБМ-277/2)		
	4	0,8				
Примечание	При токах до $20I_н$ $P_{ср}$ увеличивается не более чем в 5 раз		Реле должно правильно выбирать направление ($\varphi_р = \varphi_{м.ч}$) а) при $I_р = 20I_н$ $U_р = 15$ *в* б) при $I_р = 7I_н$ $U_р = 5$ *в* в) при $I_р = 0{,}2I_н$ $U_р = 100$ *в*		— — —	— — —
$k_в$ должен быть не менее	0,6					
$P_{потр.}$, *ва*: а) цепи тока при $I_н$	Не более 10				Не более 10	Каждой обмотки не более 10
б) цепи напряжения при $U_н = 100$ *в*	40 ($\varphi_{м.ч} = -30°$)		Не более 90 (РБМ-178, РБМ-278); 35 (РБМ-177/2, РБМ-277/2)		Не более 25	—
	35 ($\varphi_{м.ч} = -45°$)					

Продолжение табл. 3-20

Тип реле	РБМ-171/1 РБМ-271/1	РБМ-171/2 РБМ-271/2	РБМ-178/1 РБМ-278/1	РБМ-178/2 РБМ-278/2	РБМ-01	РБМ-272
Термическая устойчивость обмоток: а) цепи тока $I_{длит}$	$1,1I_н$					
б) цепи напряжения	Длительно $1,1I_н$		Кратковременно (не более 1 *мин*) $U_н = 100$ *в* (РБМ-178, РБМ-278) Длительно $1,1U_н$ (РБМ-177, РБМ-277)		Длительно $1,2U_{ном}$	—
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой (постоянная времени нагрузки $T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*)	50 *вт* при напряжении до 220 *в* или при токе до 2 *а*				60 *ва* При напряжении 220 *в* и токе до 2 *а*	50 *ва*
$t_{ср}$ при $3P_{ср}$, *сек*	0,4				Не более 0,035	Не более 0,04
Добавочное активное сопротивление в цепи обмотки напряжения, *ом*	$r_I = 35$ $r_{II} = 100$		$r = 75$		—	—
Суммарная емкость в цепи обмотки напряжения, *мкф*	—		16		—	—
Однополярные зажимы	*5* и *8* (ротор реле РБМ-271 поворачивается против часовой стрелки)		*5* и *7* (ротор реле РБМ-277 и РБМ-278 поворачивается против часовой стрелки)		*5* и *8*	*5* и *7* (ротор поворачивается против часовой стрелки)
Вес реле, *кг*	4,4		4,6			4,5

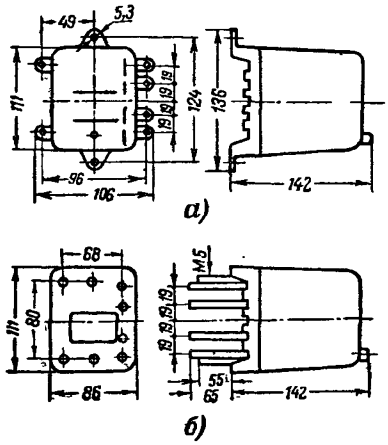


Рис. 3-30. Размеры ВТН-561.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Таблица 3-21

Исполнения реле ИМБ-171, ИМБ-178

Тип реле	$I_{ном}$, *а*	$\varphi_{м.ч}$
ИМБ-171А/1 ИМБ-171А/2	5 1	$-30 \pm 6°$ (зажимы напряжения *7-8*) или $-45 \pm 3°$ (зажимы напряжения *1-8*) (ток опережает напряжение)
ИМБ-178/1 ИМБ-178/2	5 1	$+70 \pm 4°$ (ток отстает от напряжения)

ВЫБОР УСТАВОК РЕЛЕ ЭТ-561 С ВТН-561

1. Вторичный ток срабатывания реле в схеме дифференциальной защиты трансформаторов

$$I_{ср} = \frac{100}{w_д},$$

где $w_д$ — число витков, включаемых винтом на панельке *а* дифференциальной обмотки. На остальных панельках винты установлены в положение *0*.

Таблица 3-22

Технические данные реле ИМБ-171, ИМБ-178 для частоты 50 *гц* и напряжения 100 *в*

Тип реле	ИМБ-171А/1	ИМБ-171А/2	ИМБ-171А/1	ИМБ-171А/2	ИМБ-178А/1	ИМБ-178А/2
$I_{ном}$, *а*	5	1	5	1	5	1
	$\varphi_{м.ч} = -30°$		$\varphi_{м.ч} = -45°$		$\varphi_{м.ч} = 70°$	
$P_{ср}$ при $\varphi_{м.ч}$ и $I_{ном}$ не более, *ва*	13	3	25	5	20	4
То же при $10I_{ном}$ не более, *ва*	50	10	100	20	70	14
$P_{потр}$ *ва*:						
а) цепи тока при $I_{ном}$	6		6		6	
б) цепи напряжения при $U_{ном}$	35		25		15	
Термическая устойчивость обмоток:						
а) цепи тока $I_{длит}$	$1{,}1I_{ном}$		$1{,}1I_{ном}$		$1{,}1I_{ном}$	
б) цепи напряжения $U_{длит}$	$1{,}1U_{ном}$		$1{,}1U_{ном}$		$1{,}1U_{ном}$	
$P_{конт.разр}$:						
в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой (постоянная времени нагрузки $T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*), *вт*	50		50		50	
в цепи переменного тока, при токе до 2 *а* и напряжении не более 220 *в*, *ва*	250		250		250	
$t_{ср}$ при $5P_{ср}$ и $\varphi_{м.ч}$, *сек*	0,04					
Однополярные зажимы	*5* и *8*				*5* и *7*	
Вес реле, *кг*	4,2				4,5	
Число витков, марка и диаметр провода	Обмотка тока ИМБ-171А/1, ИМБ-178А/1-2×30 ПБД 1,45, ИМБ-171А/2, И МБ-178А/2-2×150 ПЭВ-2 0,8 Обмотка напряжения ИМБ-171А/1-2-4×900 ПЭЛ 0,35 ИМБ-178А/1-2-4×1 450 ПЭВ-2 0,25					

Таблица 3-23

Технические данные реле ЭТ-561 с ВТН-561 для частоты 50 гц

Наименование параметра	ЭТ-561	ВТН-561
$I_{ср}$ (первичный) *а*:		
для защиты генератора	1,66—10	
для защиты трансформатора	2,5—10	
$I_{ср}$ (вторичный), *а*:	0,34	—
$z_р$ ($\varphi = 60°$), *ом*	6,5	—
R, *ом*:		
дифференциальной обмотки	—	0,2
выравнивающей обмотки	—	0,15
$P_{потр}$ (нагрузка на трансформаторах тока) при 5 *а*, *ва*	5	
$I_{длит}$, *а*:		
дифференциальной обмотки	—	2,2
выравнивающей обмотки	—	5,5
Электрическая прочность изоляции токоведущих частей относительно корпуса при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000	
$P_{конт.разр.}$	как у реле ЭТ-520	
Вес, *кг*	1,1	1

Таблица 3-24

Зависимость тока срабатывания реле ЭТ-561 от отпаек на дифференциальной обмотке ВТН-561

Положение винта на панельке, *а*	10	13	17	20	25	40
$w_д$, витки	10	13	17	20	25	40
$I_{ср}$, *а*	10	7,7	6	5	4	2,5

2. Выравнивание токов в плечах дифференциальной защиты трансформаторов производится включением дополнительного числа витков выравнивающей обмотки, выведенных на панельки *б*, *в*, *г*, *д*.

Выравнивающая обмотка (дополнительные витки) включается в плечо с меньшим током. Число необходимых витков (сумма цифр, набираемых винтами на панельках *б*, *в*, *г*, *д*) определяется по формуле

$$w_в = w_д \frac{1-k}{k},$$

где k — отношение меньшего тока к большему в плечах дифференциальной защиты.

3. Вторичный ток срабатывания реле дифференциальной защиты генераторов (или шин)

$$I_{ср} = \frac{100}{T},$$

где T — сумма цифр, набираемых винтами на всех панельках.

Таблица 3-25

Зависимость тока срабатывания реле ЭТ-561 с ВТН-561 от отпаек на дифференциальной и выравнивающей обмотках ВТН-561

Положение винтов в панельках секций					Сумма набранных цифр, *Т*	$I_{ср}$, *а*
а	*б*	*в*	*г*	*д*		
20	1	4	5	30	60	1,66
10	1	4	5	30	50	2
10	1	4	0	10	25	4
10	0	0	0	10	20	5
10	0	0	0	0	10	10

Примечание. Точность уставки тока срабатывания ±10%.

3-14. РЕЛЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ТИПОВ РНТ-562, РНТ-563 и РНТ-564

Реле РНТ-562 применяются в схемах дифференциальной защиты двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов, а также генераторов.

Реле РНТ-563 предназначается для дифференциальной защиты двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов при значительном различии вторичных токов в плечах.

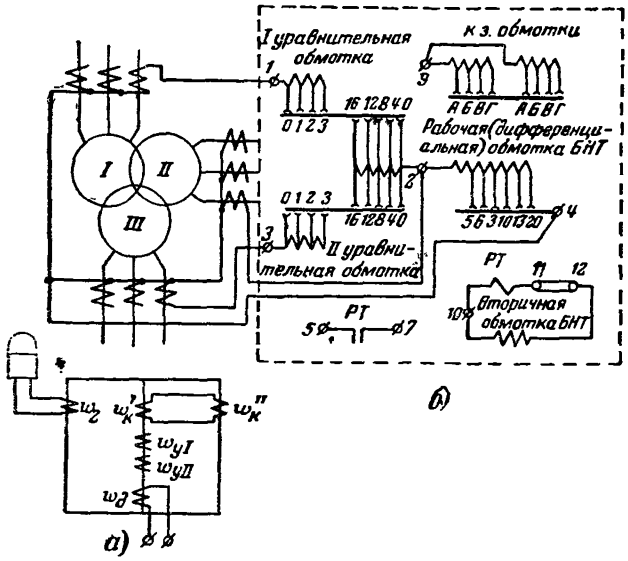


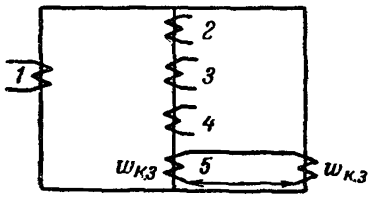
Рис. 3-31. Реле РНТ-562.
а — схема БНТ реле РНТ-562; *б* — схема внутренних соединений реле.

Реле РНТ-564 предназначается для дифференциальной защиты шин.

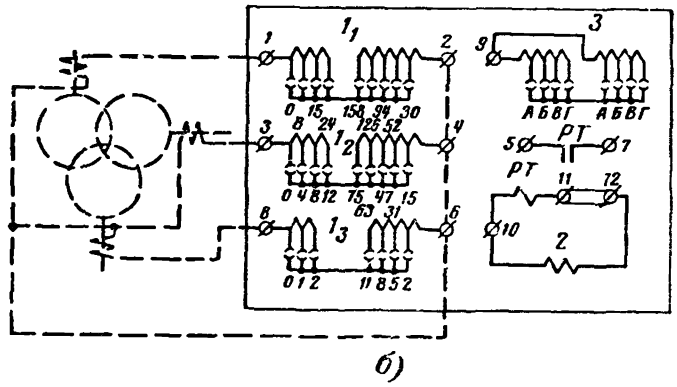
Реле типов РНТ-562, РНТ-563 и РНТ-564 состоят из исполнительного органа, выполненного на базе реле ЭТ-520, включаемого через трехстержневой быстронасыщающийся трансформатор (БНТ).

Реле РНТ-564 имеет дополнительно переменное сопротивление для регулирования $aw_{ср}$.

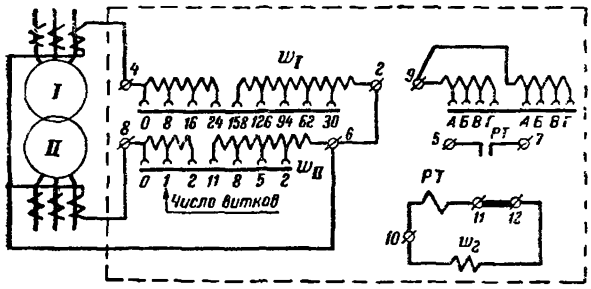
БНТ реле РНТ-562 (рис. 3-31,*а*) имеет на среднем стержне рабочую (дифференциальную) обмотку, две



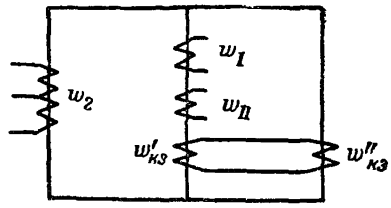
а)



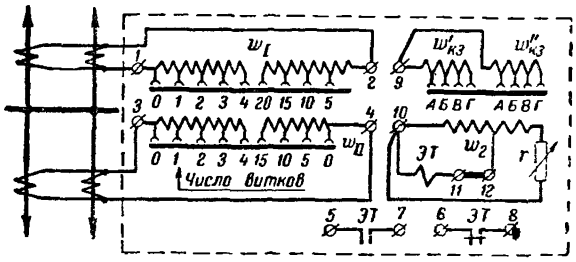
б)



в)



г)



д)

Рис. 3-32. Реле РНТ-563.

а — схема БНТ реле РНТ-563; *б* — схема внутренних соединений реле РНТ-563; *1* — вторичная; *2* — I рабочая; *3* — II рабочая; *4* — III рабочая; *5* — короткозамкнутая обмотка; *в* — схема внутренних соединений реле РНТ-563/2; *г* — схема БНТ реле РНТ-564; *д* — схема внутренних соединений реле РНТ-564.

уравнительные обмотки, а также обмотку, замкнутую на другую обмотку, расположенную на правом стержне. На левом стержне находится вторичная обмотка, в цепь которой включается реле.

Обмотки, расположенные на правом и среднем стержнях, секционированы и имеют отводы для регулировки параметров реле. Наличие уравнительных обмоток позволяет обеспечить равновесие намагничивающих сил в БНТ при применении реле РНТ-562 для дифференциальной защиты силовых трансформаторов. Уравнительные обмотки включаются в плечи с меньшими токами. Витки рабочей и уравнительных обмоток выбираются из условия равенства намагничивающих сил этих обмоток в режиме сквозного короткого замыкания. Схема включения реле РНТ-562 для дифференциальной защиты трехобмоточного трансформатора дана на рис. 3-31,*б*.

БНТ реле РНТ-563 (рис. 3-32,*а*) в отличие от БНТ реле РНТ-562 вместо рабочей и двух уравнительных обмоток имеет три не зависимые друг от друга рабочие обмотки. Обмотки среднего и правого стержней также секционированы.

Схема включения реле РНТ-563 для дифференциальной защиты трехобмоточного трансформатора дана на рис. 3-32,*б*.

БНТ реле РНТ-563/2 имеет две рабочие обмотки, аналогичные по уставкам срабатывания обмоткам I и III реле типа РНТ-563, но с повышенной термической устойчивостью (рис. 3-32,*в*). В остальном устройство и конструкция реле РНТ-563/2 аналогичны реле РНТ-563.

БНТ реле РНТ-564 (рис. 3-32,*г*) имеет на среднем стержне две рабочие обмотки, а на левом стержне — вторичную обмотку. Схема внутренних соединений реле РНТ-564 показана на рис. 3-32,*д*.

В БНТ реле РНТ-562, РНТ-563 и РНТ-564 имеются две замкнутые друг на друга обмотки, которые предназначены для повышения отстройки реле от неустановившихся переходных токов (токов небаланса при сквозных коротких замыканиях или от токов намагничивания). Величина отстройки, характеризуемая кривой $E=f(K)$, может регулироваться включением различного числа витков короткозамкнутых обмоток.

На рис. 3-33 даны зависимости $E=f(K)$:

$$K=\frac{I_n}{I'_{ср}}; \quad E=\frac{I'_{ср}}{I_{1ср}},$$

где $I_{1ср}$ — ток срабатывания реле при отсутствии постоянной составляющей;

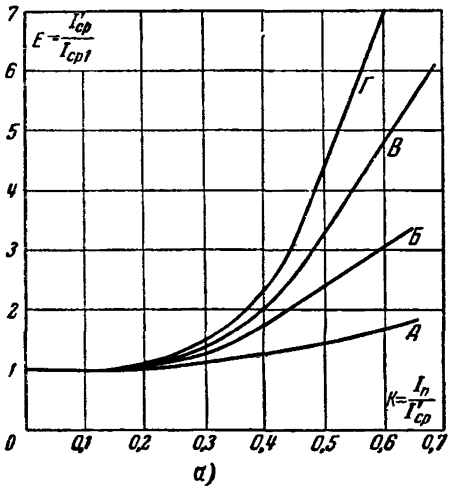
$I'_{ср}$ — ток срабатывания при наличии постоянной составляющей I_n.

При отпайках *А-А* реле работает с меньшим временем, время работы возрастает при применении отпаек от *А* к *Г*.

Таблица 3-26

Технические данные реле РНТ-562, РНТ-563 и РНТ-564 для частоты 50 *гц*

Наименование параметра		РНТ-562	РНТ-563		РНТ-563/2		РНТ-564
$F_{ср}$, *ав*		60 ± 4	60 ± 4		60 ± 4		100±3
$I_{ср}$, *а*		3; 4,6; 6; 7,5; 10; 12 при включении рабочей обмотки в плечо с большим током	I обмотка	0,33—2	I обмотка	0,33—2	4,16—20
			II обмотка	0,66—4	II обмотка	4,6—30	5,3—100
			III обмотка	4,6—30	—	—	—
$I_{ср}$, если не требуется выравнивания токов в плечах (для РНТ-562), *а*		От 1,5 до 12	—		—		—
$k_н$ по вторичному току при первичном токе	$2I_{ср}$	1,2	1,2		1,2		1,2
	$5I_{ср}$	1,35	1,35		1,35		1,35
Наибольший коэффициент выравнивания при $I_{ср.мин}$ (в дифференциальной обмотке)		≃2	—		—		—
$t_{ср}$ при синусоидальном токе $3I_{ср.перв}$, *сек*		0,035	0,035		0,035		0,035
$P_{потр}$ при к. з. в зоне и одностороннем питании (при полностью включенных витках), *ва*		—	—		—		I обмотка 20 (при токе 12 *а*) II обмотка 30 (при токе 20 *а*)
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*), *вт*		50	50		50		50
$I_{длит}$ (при $F = 0$ в БНТ), *а*		Рабочая и уравнительная обмотки (при полной компенсации) — 10	а) при включении всех витков: 0,7 — I обмотка 1,4 — II обмотка 10 — III обмотки		а) при включении всех витков: 2 — I обмотка 15 — II обмотка		I обмотка — 12 II обмотка — 20 (одновременно по I и II обмоткам)
			б) при использовании витков с большим сечением: 3 — I обмотка (54 витка) 5 — II обмотка (43 витка) 10—III обмотка		б) при использовании витков с большим сечением: 5 — I обмотка (46 витков) 18 — II обмотка (6 витков)		
Вес реле, *кг*		4	4		4		4



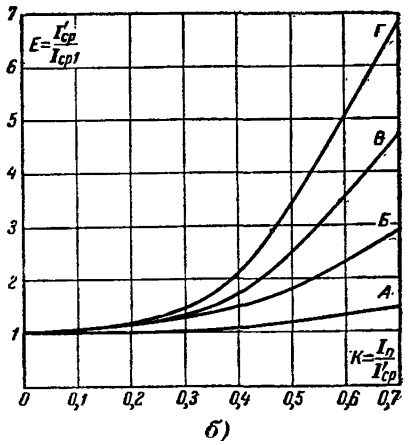


Рис. 3-33. Кривые $E=f(K)$.
а — реле РНТ-562 и РНТ-564; *б* — реле РНТ-563.

Конструктивно трансформатор и исполнительный орган реле РНТ-562, РНТ-563 и РНТ-564 встроены в общий кожух, габаритные и установочные размеры которого приведены на рис. 3-34.

Таблица 3-27

Сопротивление обмоток реле РНТ-562

Обмотка	Наибольшая величина $z_р$ при минимальных отпайках короткозамкнутых обмоток *А—А*, *ом*, при токах, *а*			*R*, *ом*
	3	5	10	
Рабочая (дифференциальная)	0,32	0,28	0,19	0,04
Уравнительная I или II	0,3	0,27	0,18	0,042—0,044

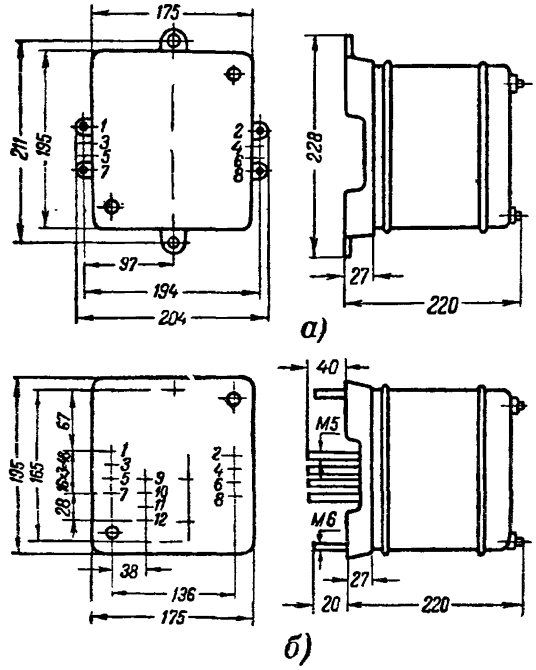


Рис. 3-34. Размеры реле РНТ-562, РНТ-563, РНТ-564 и ДЗТ-1.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Таблица 3-28

Активные сопротивления обмоток реле РНТ-563, РНТ-564, *ом*

Тип реле	I обмотка	II обмотка	III обмотка
РНТ-563	0,7	0,45	0,032
РНТ-563/2	0,6	0,02	—
РНТ-564	0,116	0,108	—

3-15. РЕЛЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ТИПА ДЗТ-1

Реле применяется в схемах дифференциальных защит двух- и трехобмоточных трансформаторов с торможением от одной группы трансформаторов тока.

Реле типа ДЗТ-1 представляет собой токовое реле типа ЭТ-520 с одним замыкающим контактом, включенное через быстронасыщающийся трансформатор (БНТ). На БНТ, конструкция которого аналогична БНТ реле типа РНТ-562, расположены следующие обмотки (рис. 3-35): на среднем стержне — рабочая (дифференциальная) и две уравнительные; на крайних стержнях — вторичная обмотка и тормозная. Рабочая и уравнитель-

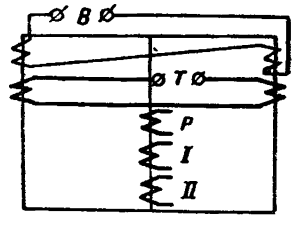


Рис. 3-35. Расположение обмоток на БНТ реле ДЗТ-1.
В — вторичная; *Т* — тормозная; *Р* — рабочая; *I* и *II* — уравнительные.

Таблица 3-29

Обмоточные данные реле РНТ-562, РНТ-563, РНТ-564

Реле		Обмотки	Обмоточные данные	Примечание
РНТ-562	БНТ	Дифференциальная	20 витков ПБД 1,56	Сечение железа крайнего стержня БНТ 1,25 *см*^{2}
		Каждая уравнительная (I или II)	19 витков ПБД 1,56	
		Вторичная	48 витков ПБД 1	
		Короткозамкнутая обмотка среднего стержня	28 витков ПБД 1,45 отводы от 3-го, 8-го и 16-го витков	
		Короткозамкнутая обмотка крайнего стержня	56 витков ПБД 1,45 отводы от 6-го, 16-го и 32-го витков	
	ЭТ-520	Каждая катушка	500 витков ПЭЛ 0,35	
РНТ-563	БНТ	I обмотка	Всего 182 витка, в том числе 24—ПЭВ 2-1, 128 — ПЭВ-2-0,8 и 30 — ПЭВ-2-1	
		II обмотка	Всего 91 виток, в том числе 12—ПБД 1,25; 31 — ПБД 1,25 и 48 — ПЭВ-2-0,8	
		III обмотка	13 витков ПБД 1,81	
		Вторичная	48 витков ПБД 1	
		Короткозамкиутая обмотка среднего стержня	15 витков ПБД 1,81 отводы от 2-го, 5-го и 9-го витков	
		Короткозамкнутая обмотка крайнего стержня	30 витков ПБД 1,81, отводы от 4-го, 10-го и 18-го витков	
	ЭТ-520	(каждая катушка)	500 витков ПЭВ-2-0,35	
РНТ-563/2	БНТ	I обмотка	$w_I = 182$ витка ПБД-1,16	
		II обмотка	$w_{II} = 13$ витков ПБД-2,26	
		Вторичная	$w_2 = 48$ витков ПБД-1,0	
		Короткозамкнутая обмотка среднего стержня	$w'_{кз} = 15$ витков ПБД-1,81, отводы от 2-го, 5-го, 9-го витков	
		Короткозамкнутая обмотка крайнего стержня	$w''_{кз} = 30$ витков ПБД-1,81, отводы от 4-го, 10-го, 18-го витков	
	ЭТ-520	(каждая катушка)	500 витков ПЭВ-2/0,35	
РНТ-564	БНТ	I обмотка	$w_I = 20 + 4 = 24$ витка ПБД-1,81	
		II обмотка	$w_{II} = 15 + 4 = 19$ витков ПБД-2,26	
		Вторичная	$w_2 = 125$ витков ПБД-1,0, отводы от 48-го витка	
		Короткозамкнутая обмотка среднего стержня	28 витков ПБД-1,45, отводы от 3-го, 8-го и 16-го витков	
		Короткозамкнутая обмотка крайнего стержня	56 витков ПБД-1,45, отвод от 6-го, 16-го и 32-го витков	
	ЭТ-520	(каждая катушка)	500 витков ПЭВ-2/0,35	

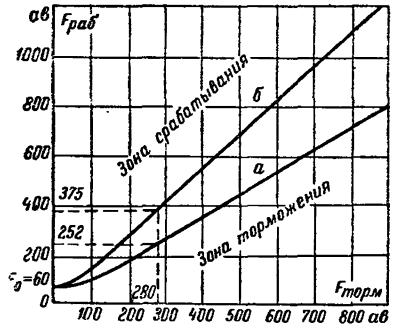


Рис. 3-36. Тормозная характеристика реле ДЗТ-1.

ные обмотки имеют такие же отпайки, как в реле РНТ-562. Катушки вторичной и тормозных обмоток включены так, что э. д. с. во вторичной обмотке наводится только под действием токов, проходящих в обмотках среднего стержня. При прохождении тока по тормозной обмотке магнитопровод БНТ насыщается, при этом ухудшаются условия трансформации токов из первичных обмоток среднего стержня во вторичную. Вследствие этого при сквозных коротких замыканиях (когда проходит ток по тормозной обмотке) ток срабатывания защиты повышается в соответствии с тормозной характеристикой реле. Примерный вид тормозной характеристики приведен на рис. 3-36.

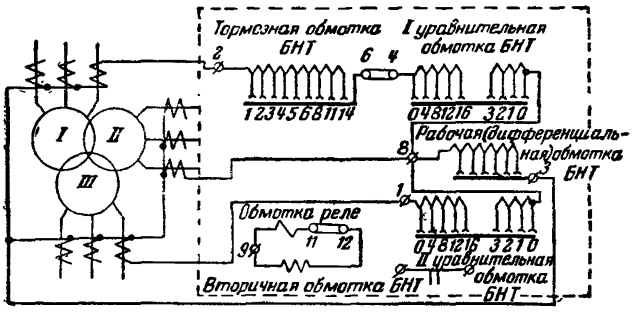


Рис. 3-37. Схема дифференциальной защиты с реле ДЗТ-1 (для одной фазы) трехобмоточного трансформатора.

Кривые *а* и *б* показывают пределы изменения тормозной характеристики в зависимости от угла между током в рабочей и тормозной обмотках. Величина коэффициента торможения может изменяться в широких пределах путем включения различного числа витков тормозной обмотки.

Регулирование тока срабатывания и выравнивание токов в плечах дифференциальной защиты осуществляются включением соответствующих отпаек на рабочей и уравнительных обмотках, так же как и в реле РНТ-562.

Схема дифференциальной защиты с реле ДЗТ-1 (для одной фазы) приведена на рис. 3-37.

Габаритные и установочные размеры реле ДЗТ-1 даны на рис. 3-34.

3-16. РЕЛЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ТИПОВ ДЗТ-3 ДЗТ-3/2 и ДЗТ-4

Реле применяются в схемах дифференциальных защит многообмоточных трансформаторов с торможением от трех (ДЗТ-3) или четырех (ДЗТ-4) групп трансформаторов тока. Эти реле имеют соответственно три или четыре тормозные обмотки.

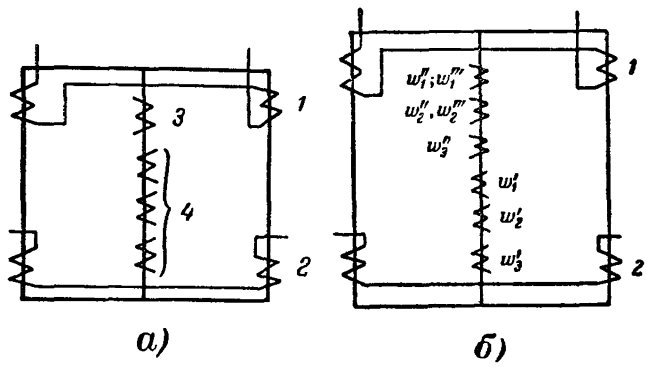


Рис. 3-38. Расположение обмоток на БНТ.
а — реле ДЗТ-3 и ДЗТ-4; *б* — реле ДЗТ-3/2; *1* — вторичная; *2* — тормозная; *3* — рабочая основная; *4* — рабочие дополнительные обмотки.

Реле ДЗТ-3/2 предназначено для дифференциальных защит трансформаторов при значительном различии вторичных токов.

Реле типов ДЗТ-3, ДЗТ-3/2 и ДЗТ-4 состоят из токового реле типа ЭТ-520 с одним замыкающим контактом, представляющим собой исполнительный орган, и трех быстронасыщающихся трансформаторов (БНТ) для реле типа ДЗТ-3 и четырех — для реле ДЗТ-4.

БНТ имеют трехстрежневые магнитопроводы. На крайних стержнях расположены тормозная и вторичные обмотки (рис. 3-38). Вторичные обмотки всех БНТ одного реле соединены параллельно, и к ним присоединена обмотка реле ЭТ-520.

Средние стержни всех БНТ реле (трех в ДЗТ-3 и четырех в ДЗТ-4) охватываются одной катушкой, в которой расположены рабочие обмотки реле.

Вторичные и тормозные полуобмотки каждого БНТ включены так, что э. д. с. во вторичной обмотке наводится только от рабочих обмоток среднего стержня.

Прохождение же токов в тормозной обмотке подмагничивает БНТ, уменьшает сопротивление его ветви намагничивания и отсасывает этим часть тока из вторичной обмотки, что приводит к загрублению защиты и улучшает отстройку от токов небаланса при сквозных коротких замыканиях.

Тормозная характеристика реле представляет собой зависимость намагничивающей силы срабатывания реле от суммарной намагничивающей силы тормозных обмоток, обтекаемых током. При прочих равных условиях коэффициент торможения реле зависит от числа и схемы включения тормозных обмоток и от угла сдвига фаз между рабочим и тормозным токами. Реле имеет наибольший коэффициент торможения при использовании одной тормозной обмотки и наименьший при использовании всех тормозных обмоток.

Примерный диапазон изменения тормозных характеристик для включения двух и трех тормозных обмоток реле ДЗТ-3(3/2) и двух, трех и четырех обмоток реле ДЗТ-4 приведен на рис. 3-39.

Тормозные обмотки имеют отводы от отпаек, чем обеспечивается возможность получения необходимых тормозных характеристик защиты.

Рабочие катушки реле ДЗТ-3 и ДЗТ-4 состоят из одной основной и трех дополнительных обмоток, все обмотки секционированы и имеют отводы, что позволяет включить в каждом плече 4—27 витков, обеспечивая:

Таблица 3-30

Технические данные реле ДЗТ-1 для частоты 50 *гц*

$F_{ср}$ (при отсутствии торможения), *ав*	60+4
$I_{ср}$ (при отсутствии торможения), рабочая (дифференциальная) обмотка включена в плечо с большим током, *а*: для трехобмоточных трансформаторов	3—12
для двухобмоточных трансформаторов	1,55—12
Наибольший коэффициент выравнивания в схеме трехобмоточных трансформаторов токов двух плечей относительно третьего	~2
$k_т$ (отношение $I_р/I_т$ для точки кривой с $F_т = 280$ *ав*) может изменяться в пределах	От 0,18 и выше при $I_{ст} = 12$ *а* (включая 1 виток тормозной обмотки)
	От 0,63 и ниже при $I_{ср} = 3$ *а*
$k_н$ по вторичному току (при $5I_{ср}$) не менее	1,35
$t_{ср}$ при $3I_{ср}$ не более, *сек*	0,035
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока напряжением до 220 *в* и при токе до 2 *а* с индуктивной нагрузкой ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*), *вт*	50
$P_{потр}$ при $I_{ном} = 5$ *а*, полностью включенных тормозной (*z*) и одной уравнительной (*r*) обмотках не превышает, *ва* на фазу	7
$I_{длит}$ дифференциальной, уравнительных и тормозной обмоток, *а*	10
Вес реле, *кг*	4

Таблица 3-31

Обмоточные данные реле ДЗТ-1

Обмотки		Обмоточные данные	Примечание
БНТ	Дифференциальная	20 витков ПБД-1,81	1. Сечение железа крайнего стержня БНТ $S = 1{,}25$ *см*^{2} 2. Число витков в отводах дано на схеме рис. 3-37
	I и II уравнительные (каждая)	19 витков ПБД-1,81	
	Тормозная	2 катушки по 14 витков ПБД-1,81	
	Вторичная	2 катушки по 24 витка ПБД-1,45	
Исполнительное реле ЭТ-520		2 катушки по 500 витков ПЭЛ-0,35	

а) компенсацию несоответствия коэффициентов трансформаторов тока в плечах защиты;

б) необходимую величину тока срабатывания реле.

Рабочая катушка реле ДЗТ-3/2 имеет три секционированные обмотки, каждая из которых состоит из нескольких частей.

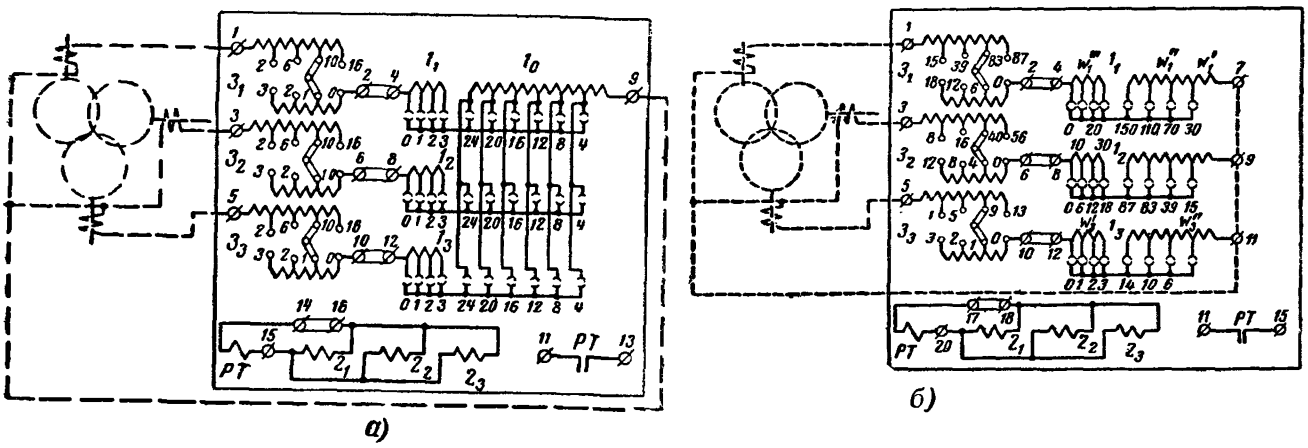
Такое конструктивное выполнение обмоток позволяет иметь реле типов ДЗТ-3, ДЗТ-3/2 и ДЗТ-4 с широкими диапазонами выравнивания токов в плечах, регулировкой чувствительности коэффициента торможения.

Применение одновременно принципа БНТ обеспечивает отстройку реле от бросков тока намагничивания при включении трансформатора под напряжение.

Схемы внутренних соединений реле и включения их в одну фазу схемы дифференциальной защиты трансформатора приведены на рис. 3-40.

Исполнительный орган и все БНТ каждого реле смонтированы в одном кожухе.

Все регулируемые отводы выведены на лицевую сторону реле, габаритные и установочные размеры реле даны на рис. 3-41.



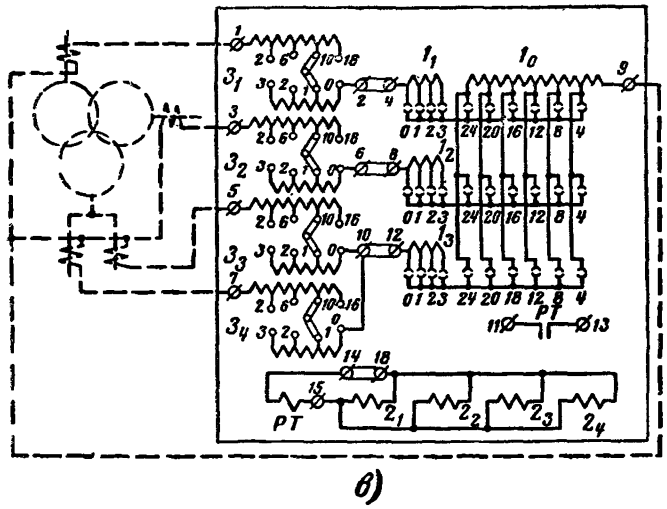
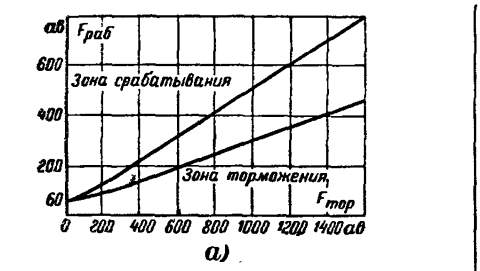
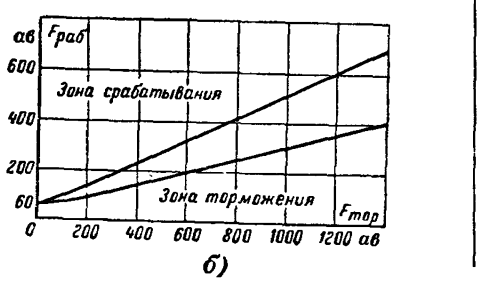


Рис. 3-40. Схема реле и включение его в одну фазу дифференциальной защиты трансформатора.
а — реле ДЗТ-3; *б* — реле ДЗТ-3/2; *в* — реле ДЗТ-4.





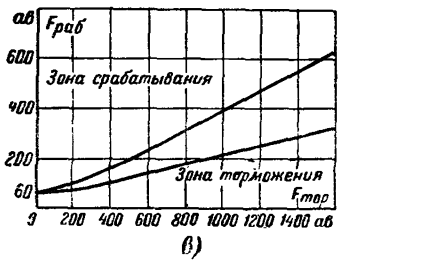


Рис. 3-39. Пределы изменения тормозных характеристик в зависимости от угла сдвига между рабочим и тормозным токами в пределах 0—180° и от схемы включения.
а — реле ДЗТ-3; *б* — реле ДЗТ-3/2; *в*—реле ДЗТ-4.

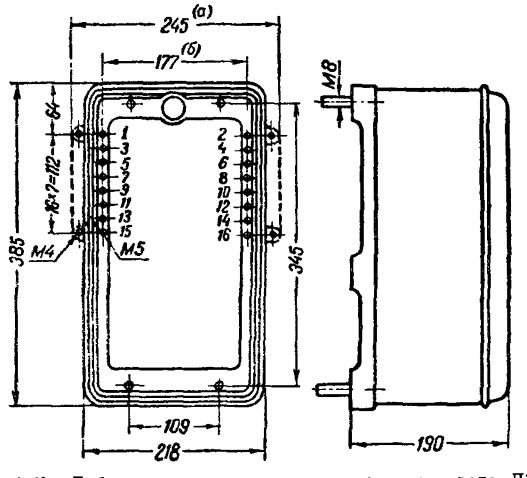


Рис. 3-41. Габаритные и установочные размеры реле ДЗТ-3. ДЗТ-3/2 и ДЗТ-4.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Таблица 3-32

Технические данные реле ДЗТ-3, ДЗТ-4, ДЗТ-3/2 для частоты 50 *гц*

Наименование параметра	ДЗТ-3	ДЗТ-4	ДЗТ-3/2
$F_{ср}$ при отсутствии торможения ($F_т = 0$), *а*	60±4		60±4
$I_{ср}$ (при $F_{ср} = 60$), *а*	2,2—15		I обмотка 0,33 — 2 II обмотка 0,58 — 4 III обмотка 3,5 — 30
$k_т$	При $F_т = 600$ *ав*		При $F_т = 800$ *ав*
а) для $I_{ср.макс}$ б) для $I_{ср.мин}$	0,32 и выше 0,45 и ниже	0,25 и выше 0,35 и ниже	0,3 и выше 0,35 и ниже
$k_н$ по вторичному току (под $I_{1ср}$ понимается ток срабатывания, имеющий место при $k_т = 0{,}35 — 0{,}45$)	При 5 $I_{1ср}$ — 1,35 При 2 $I_{1ср}$ — 1,2		
$I_{длит}$ обмоток (рабочих и тормозных), *а*	10	При включении всей обмотки: I — 0,7; II — 1,2; III — 12 При включении части витков с большим сечением: 1,2; 3,5; 12	
$t_{ср}$ при $3I_{1ср}$, *сек*	0,035		
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*) при $U = 220$ *в* и токе 2 *а*, *вт*	50		
$P_{потр}$ в нормальном режиме, *ва*. Учитываются полное сопротивление тормозной обмотки и сопротивление меди рабочей обмотки	Потребление рабочей обмотки ложится на плечо с большим током При токе 5 *а* не более 10 *ва* на фазу		При токе 0,35 *а* в I рабочей и тормозной обмотках 3 *ва* При токе 0,6 *а* во II рабочей и тормозной обмотках 3 *ва* При токе 3,5 *а* в III рабочей и тормозной обмотках 6,5 *ва*
$P_{потр}$ при коротком замыкании в зоне защиты. Учитываются полные сопротивления тормозной и рабочей обмоток	При токе 5 *а* не более 45 *ва* на фазу		При $I = 5I_{ср}$ (на минимальной уставке) не более 140 *ва*
Вес реле, *кг*	9,7	10,5	10

Таблица 3-33

Обмоточные данные реле ДЗТ-3, ДЗТ-4, ДЗТ-3/2

Реле	Элемент	Обмотка	Обмоточные данные		Примечание
ДЗТ-3 и ДЗТ-4	БНТ	Рабочая — основная	24 витка ПДБ-1,81	На каждом БНТ	Сечение железа для крайнего стержня БНТ равно 1,25 *см*²
		Рабочая дополнительная I — III	По 3 витка каждая ПБД-1,81		
		Тормозная основная $w'_т$	По 16 витков ПБД-1,81 на каждом керне БНТ		
		Тормозная дополнительная — $w''_т$	По 3 витка ПБД-1,81 на каждом керне БНТ		
		Вторичная	По 24 витка ПБД-1,45 на каждом керне БНТ		
	ЭТ-520		По 500 витков ПЭЛ-0,35 на каждой катушке реле		
ДЗТ-3/2	БНТ	I рабочая	$w'_1 = 30$ ПЭВ2-1		
			$w''_1 = 120$ ПЭВ2-0,8		
			$w'''_1 = 30$ ПЭВ2-1		
		II рабочая	$w'_2 = 18$ ПБД-1,25		
			$w''_2 = 72$ ПЭВ-2-0,8		
			$w'''_2 = 15$ ПБД-1,25		
		III рабочая	$w'_3 = 3$ витка ПБД-1,81		
			$w''_3 = 14$ витков ПБД-1,81		
		I тормозная	На каждом керне БНТ по	87 витков ПЭВ2-1 — основная 18 витков ПЭВ2-1 — дополнительная	
		II тормозная		56 витков ПБД-1,25 — основная 12 витков ПБД-1,25 — дополнительная	
		III тормозная		13 витков ПБД-1,81 — основная	
				3 витка ПБД-1,81 — дополнительная	
		Вторичная		24 витка ПБД-1,45	
	ЭТ-520	На каждой катушке		По 500 витков ПЭЛ-0,35	

Примечания: 1. Маркировка у гнезд тормозной обмотки показывает число включенных витков тормозной обмотки на каждом крайнем стержне БНТ—$w_т$, т. е. на каждой из двух катушек обмотки.

2. Намагничивающая сила от одной тормозной обмотки (от одного БНТ) равна $F_т = 2I_т w_т$, где $I_т$ — тормозной ток, проходящий по каждой катушке тормозной обмотки.

3-17. РЕЛЕ ПОНИЖЕНИЯ ЧАСТОТЫ ТИПА ИВЧ-011А

Реле применяется в схемах автоматической аварийной разгрузки по частоте и в других устройствах автоматики, где требуется контроль при понижении промышленной частоты переменного тока.

Реле выполнено на индукционном принципе (рис. 3-42), так же как реле мощности типов ИМБ или РБМ.

Реле имеет две обмотки—одну (*1*), состоящую из последовательно соединенных катушек, расположенных на магнитопроводе (в цепь этой обмотки входит конденсатор *C*), и другую (*2*), расположенную на полюсах и соединенную последовательно с активными сопротивлениями *r* и *P*. Обмотки создают соответственно потоки Φ_1 и Φ_2. Момент на реле пропорционален $M = kf\Phi_1\Phi_2 \sin\gamma$, где f — частота переменного тока, создающего потоки Φ_1 и Φ_2; γ — угол сдвига фаз между Φ_1 и Φ_2.

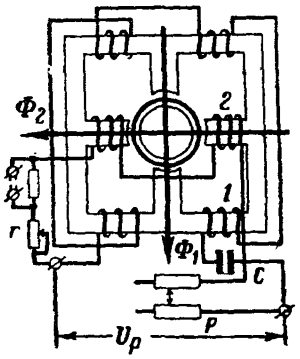


Рис. 3-42. Устройство реле понижения частоты типа ИВЧ-011А.

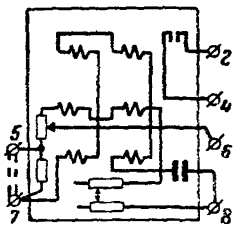


Рис. 3-43. Схема внутренних соединений реле типа ИВЧ-011А.

При нормальной частоте угол γ отрицателен и реле имеет момент на размыкание контактов.

Параметры реле подобраны так, чтобы при частоте уставки угол γ, а следовательно, и момент на реле изменялись на положительные. Изменение угла γ в зависимости от частоты обусловлено различным характером изменения фаз токов в обмотке *1* (индуктивно-емкостный контур) и в обмотке *2* (активно-индуктивный контур).

Реле имеет один замыкающий контакт. При отсутствии напряжения на реле его контакт разомкнут благодаря действию противодействующей пружины.

Для обеспечения более четкой работы реле и уменьшения коэффициента возврата к действию пружины добавляется противодействующий момент, создаваемый неподвижным постоянным магнитом и стальным стержнем на подвижной системе.

Реле имеет небольшую зависимость частоты срабатывания от величины напряжения. В реле предусмотрен дополнительный зажим *6*, который позволяет использовать реле в схемах АПВ после АЧР. Во избежание неправильного срабатывания реле частоты при резком снижении и восстановлении напряжения (при $f > f_{ср}$) рекомендуется включать его через промреле со временем срабатывания порядка 0,05 *сек*.

Схема внутренних соединений реле приведена на рис. 3-43, габаритные и установочные размеры — на рис. 3-44.

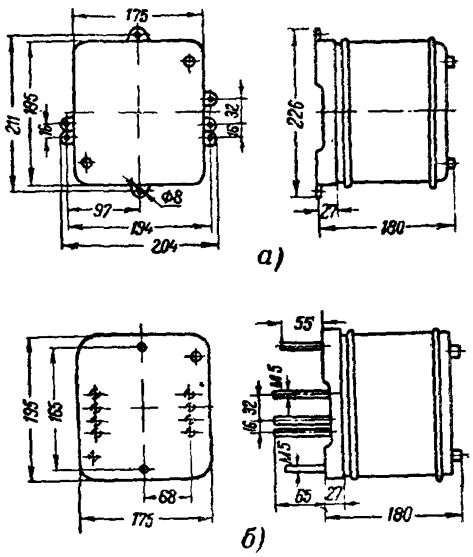


Рис. 3-44. Размеры реле типа ИВЧ-011А.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

3-18. РЕЛЕ РАЗНОСТИ ЧАСТОТ ТИПА ИРЧ-01А

Реле применяется в схемах самосинхронизации синхронных генераторов и синхронных компенсаторов.

Конструктивно реле выполнено аналогично реле ИВЧ-011А. Реле имеет две обмотки (рис. 3-45), обмотку *1* (катушки расположены на полюсах), которая включается на остаточное напряжение генератора (с. к.), и обмотку *2* (состоящую из четырех катушек, расположенных на полюсах). Обмотка *2* включается на напряжение сети.

Так как напряжение сети и генератора (до включения его выключателя) несинхронны, угол сдвига фаз между ними является переменной величиной, а следовательно, и вращающий момент на реле является переменным по величине и знаку. Это вызывает колебательное движение подвижной системы с амплитудой, обратно пропорциональной разности частот.

При определенной разности частот амплитуда колебаний становится достаточной для замыкания контактов реле, чем дается импульс на включение выключателя генератора.

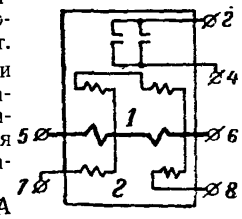


Рис. 3-45. Схема внутренних соединений реле типа ИРЧ-01А.

В отличие от реле ИВЧ-011А реле разности частот имеет две пары неподвижных контактов, каждая из которых замыкается контактным мостиком при отклонении подвижной системы в соответствующую сторону. Неподвижные контакты соединены параллельно для обеспечения более надежной работы реле при изменяющейся разности частот.

Габаритные и установочные размеры реле такие же, как у реле ИВЧ-011А.

В целях обеспечения более надежного импульса на включение генератора, а также для предохранения от перегорания обмотки *1* после включения выключателя генератора рекомендуется реле ИРЧ-01А включать со-

Таблица 3-34

Технические данные реле ИВЧ-011А для напряжения 100 *в* и частоты 50 *гц*

Наименование параметра	Величина
$f_{ср}$, *гц*	От 49 до 45 (49 — 46,5 — перемычка *5* — *7* установлена, 46,5—45—перемычка *5*—*7* снята)
$k_в$	Не более 1,01
Погрешность $f_{ср}$, *гц* (при изменении напряжения в пределах 60—120 *в*)	Не превышает 0,2
Погрешность $f_{ср}$, *гц* (при изменении t в пределах $-10 \div +40°$ С)	Не превышает 0,25
$P_{потр}$ при $U_{ном}$, *ва*	10
$U_{длит}$	$1{,}1U_{ном}$
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой (T не более $5 \cdot 10^{-3}$ *сек*) при напряжении до 220 *в* и токе до 2 *а*, *вт*	50
Электрическая прочность изоляции относительно корпуса при f=50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000
Вес реле, *кг*	5,5

вместно с промежуточным реле, например типа ЭП-101А (РП-23), по схеме рис. 3-46.

Для регулировки тока в цепи обмотки *1* используется реостат типа ВС 240/140 с пределами 0—120 (160 *ом*). Реле ЭП-101А (РП-23) и реостат ВС 240/140 поставляются комплектно с реле ИРЧ-01А.

Размеры реостата даны на рис. 3-47.

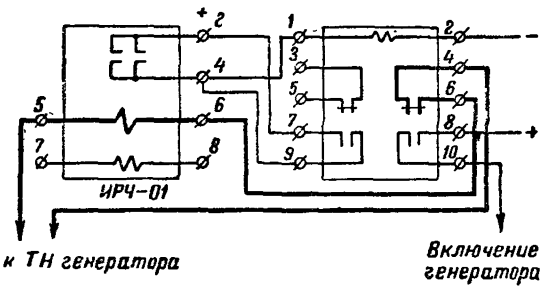


Рис. 3-46. Схема включения реле ИРЧ-01 с реле ЭП-101А.

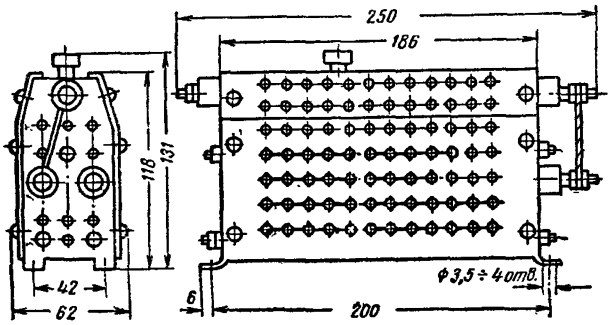


Рис. 3-47. Размеры реостата ВС-240/140.

3-19. РЕЛЕ ВРЕМЕНИ СЕРИЙ ЭВ-110, ЭВ-120, ЭВ-130, ЭВ-140, ЭВ-210, ЭВ-220, ЭВ-230, ЭВ-240

Реле применяются в различных схемах защиты и автоматики для получения независимой выдержки времени.

Принцип действия основан на освобождении заторможенного часового механизма.

На рис. 3-48 показано устройство реле времени. Ведущая пружина часового механизма *11* нормально растянута (заведена) и удерживается в таком положении пальцем *9*, который упирается в якорь *3*, удерживаемый возвратной пружиной *4*.

При подаче напряжения на обмотку реле *1* якорь *3*, сжимая пружину *4*, втягивается внутрь катушки и освобождает палец *9*. Под воздействием ведущей пружины *11* зубчатый сектор *10* начинает поворачиваться и вращать сцепленную с ним трибку *13*, на валу которой укреплен рычаг с неподвижным контактом *22*.

При повороте валика трибки против часовой стрелки происходит его сцепление с ведущей шестерней *15* посредством фрикциона *14*. Ведущая шестерня *15* через трибку *16* и промежуточные шестерни *17* и *18* связана с часовым механизмом, который состоит из анкерного колеса *19*, анкерной скобы *20* и коромысла *21* с грузами.

Скорость хода часового механизма регулируется положением грузиков на коромысле (при увеличении их расстояния от оси скорость уменьшается, а при уменьшении — увеличивается).

При неизменном положении грузиков часовой механизм обеспечивает движение подвижного контакта с постоянной скоростью, чем создается выдержка времени реле.

Величина выдержки времени определяется расстоянием от начального положения подвижного контакта *22* до неподвижных контактов *23*, которые для изме-

Таблица 3-35

Технические данные реле ИРЧ-01А для частоты 50 *гц*

Наименование параметра		Величина
$U_{ном}$ на обмотке *2*, *в*		100
$I_р$ обмотки *1*, *ма*		55±15
Реле надежно работает в диапазоне частот, *гц*		40—60
$P_{потр}$ обмотки *1* (при $U_{ном}$), *ва*		35
R меди обмотки *1*, *ом*		0,15
Разность частот срабатывания, *гц*: при $U_{ном}$ и $I_{ном}$ соответственно в обмотках *2* и *1*		1
при U = 50 — 120 *в* в обмотке *2*, I = = 35 — 100 *ма* в обмотке *1*		1,8—0,35
Реле надежно срабатывает при	разности частот срабатывания, *гц*, что соответствует	0,2; 0,5; 0,7; 1,0; 1,5
	допустимой предельной скорости изменения разности частот, *гц/сек*	0,08; 0,5; 0,98; 2,0; 4,5
Электрическая прочность изоляции переменному току токоведущих частей относительно корпуса в течение 1 *мин*, *в*		2 000
Ход подвижных контактов в любую сторону, *мм*		7—8
$P_{конт. разр}$ в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой (T не более $5 \cdot 10^{-3}$ *сек*), *вт*		50 при $U \leqslant 250$ *в* и токе $I \leqslant 2$ *а*
Вес реле, *кг*		4

нения уставки можно перемещать по шкале *24*. Неподвижные контакты *23* имеют упор, на котором после их замыкания останавливается рычаг с подвижным контактом.

Кроме контактов с выдержкой времени (*23*), реле имеет мгновенный переключательный контакт *6*, *7*, *8* с общей точкой. Нормально замкнуты контакты *6* и *7*; при втягивании якоря реле поводок *5*, нажимая на контакт *6*, переключает его и замыкает с контактом *8*.

Отдельные исполнения реле (табл. 3-36) имеют дополнительно один проскальзывающий контакт, замыкающийся с выдержкой времени.

При наличии проскальзывающего контакта на выходные зажимы реле выводятся не оба, а только один мгновенный контакт.

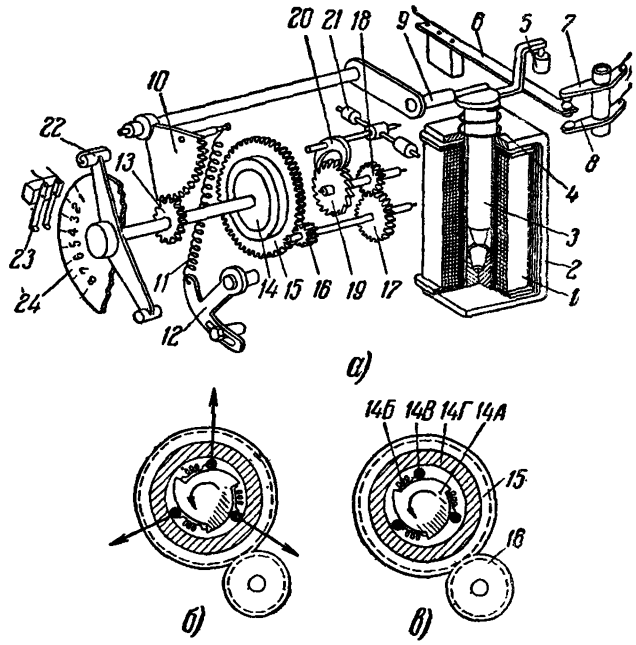


Рис. 3-48. Устройство реле времени.
а — кинематическая схема реле; *б* — фрикционное сцепление при работе реле времени; *в* — фрикционное сцепление при возврате реле времени (*14А* — звездочка; *14Б* — шарик; *14В* — пружинка; *14Г* — обойма).

Реле времени постоянного тока имеют наименование серии ЭВ-100, а переменного тока—ЭВ-200.

Все типы реле времени, кроме типа ЭВ-215—ЭВ-245, приходят в действие при включении обмотки реле под

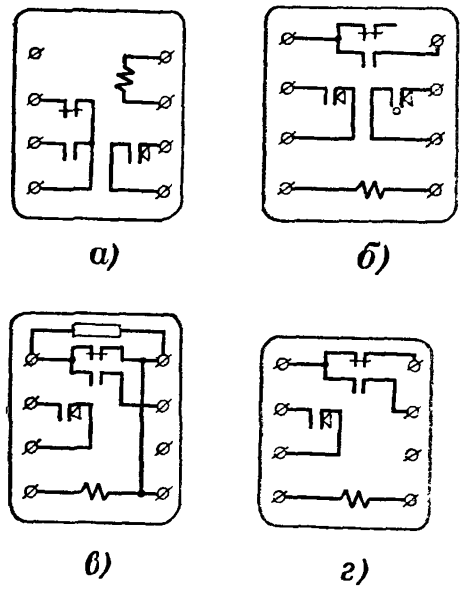


Рис. 3-49. Схема внутренних соединений реле времени.
а — ЭВ-111, ЭВ-121, ЭВ-131, ЭВ-211, ЭВ-221, ЭВ-231; *б* — ЭВ-112, ЭВ-122, ЭВ-132, ЭВ-142, ЭВ-222, ЭВ-232, ЭВ-215, ЭВ-225, ЭВ-235, ЭВ-245; положение контактов для реле серии ЭВ-215 соответствует подведенному напряжению к обмотке реле, ЭВ-218, ЭВ-228, ЭВ-238, ЭВ-248; *в* — ЭВ-113 ЭВ-123, ЭВ-133, ЭВ-143; *г* — ЭВ-114, ЭВ-124, ЭВ-134, ЭВ-144, ЭВ-217, ЭВ-227, ЭВ-237, ЭВ-247.

Таблица 3-36

Исполнения реле времени серий ЭВ-100, ЭВ-200

Тип реле	$t_{ср}$, *сек*	Максимальный разброс $t_{ср}$, *сек*	Количество контактов с временем		Время замкнутого состояния проскальзывающих контактов, *сек*	Количество мгновенных контактов, выведенных на зажимы		$U_{ном}$, *в*	Род тока	$P_{потр}$, *вт (ва)*
			конечных	проскальзывающих		замыкающих	размыкающих			
ЭВ-111	0,1—1,3	0,06	1	—	—	1	1	24,48 110, 220	Постоянный	30
ЭВ-112			1	1	0,05—0,1	1	—			
ЭВ-113			1	—	—	1	1			30/10***
ЭВ-114			1	—	—	1	1			
ЭВ-121	0,25—3,5	0,12	1	—	—	1	1			30
ЭВ-122			1	1	0,17—0,25	1	—			
ЭВ-123			1	—	—	1	1			30/10***
ЭВ-124			1	—	—	1	1			
ЭВ-131	0,5—9	0,25	1	—	—	1	1			30
ЭВ-132			1	1	0,45—0,65	1	—			
ЭВ-133			1	—	—	1	1			30/10***
ЭВ-134			1	—	—	1	1			
ЭВ-142	2—20	0,8	1	1	1—1,5	1	—			30
ЭВ-143			1	—	—	1	1			
ЭВ-144			1	—	—	1	1			
ЭВ-211	0,1—1,3	0,06	1	—	—	1	1	100, 127 220, 380	Переменный	75
ЭВ-214			1	—	—	1	1			
ЭВ-215*			1	1	0,05—0,1	—	1****			15**
ЭВ-217			1	—	—	1	1			
ЭВ-218			1	1	0,05—0,1	1	—			
ЭВ-221	0,25—3,5	0,12	1	—	—	1	1			75
ЭВ-222			1	1	0,17—0,25	1	—			
ЭВ-224			1	—	—	1	1			
ЭВ-225*			1	1	0,17—0,25	—	1****			15**
ЭВ-227			1	—	—	1	1			
ЭВ-228			1	1	0,17—0,25	1	—			
ЭВ-231	0,5—9	0,25	1	—	—	1	1			75
ЭВ-232			1	1	0,45—0,65	1	—			
ЭВ-234			1	—	—	1	1			
ЭВ-235*			1	1	0,45—0,65	—	1****			15**
ЭВ-237			1	—	—	1	1			
ЭВ-238			1	1	0,45—0,65	1	—			
ЭВ-245*	2—20	0,8	1	1	1,0—1,5	—	1****			15**
ЭВ-247			1	—	—	1	1			
ЭВ-248			1	1	1,0—1,5	1	—			

Примечание. Выпускаются реле типов ЭВ-112А, ЭВ-114А, ЭВ-122А, ЭВ-123А, ЭВ-124А, ЭВ-132А, ЭВ-133А, ЭВ-134А, ЭВ-144А, которые отличаются от приведенных в табл. 3-36 наличием буксирной стрелки (при уставке 3,5 и 9 *сек*) и искрогасительного контура (для напряжений 110 и 220 *в*).

* Реле времени ЭВ-215, ЭВ-225, ЭВ-235, ЭВ-245 изготавливаются на 100, 127 и 220 *в*.

** При $U_{ном}$ и притянутом якоре.

*** В числителе указана $P_{потр}$ кратковременно (до размыкания мгновенного контакта, шунтирующего сопротивление), а в знаменателе — $P_{потр}$ длительно (после дешунтирования сопротивления).

**** Положение контакта соответствует обесточенной обмотке реле.

Технические данные реле времени серий ЭВ-100, ЭВ-200 *Таблица 3-37*

Наименование параметра	Величина параметра				
	ЭВ-111 ЭВ-121 ЭВ-131 ЭВ-112 ЭВ-122 ЭВ-132 ЭВ-142 ЭВ-114 ЭВ-124 ЭВ-134 ЭВ-144	ЭВ-113 ЭВ-123 ЭВ-133 ЭВ-143	ЭВ-211 ЭВ-221 ЭВ-231 ЭВ-222 ЭВ-232 ЭВ-214 ЭВ-224 ЭВ-234	ЭВ-215 ЭВ-225 ЭВ-235 ЭВ-245	ЭВ-217 ЭВ-227 ЭВ-237 ЭВ-247 ЭВ-218 ЭВ-228 ЭВ-238 ЭВ-248
Время термической устойчивости при 1,1 $U_{ном}$, *мин*	2	Длительно	2	Длительно	
$U_{ср}$ не менее, % $U_{ном}$	70	70	85	70	85
Длительно допустимый ток на замыкание контактов, *а*:					
главных	5	5	5	5	5
мгновенных	3	3	3	5	3
$P_{конт.разр}$ (основных и мгновенных) в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*) при токе до 1 *а* и напряжении до 220 *в*, *вт*	100				—
$P_{конт.разр}$ в цепи переменного тока до 2,5 *а* и напряжении до 220 *в*, *ва*	—				500
Электрическая прочность всех токоведущих деталей относительно магнитопровода при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000				
Количество допустимых включений:					
всего	5 000				
в 1 *ч*	Не более 30				—
Вес реле, *кг*	1,5				
Число витков, диаметр провода ПЭЛ и сопротивление катушек реле серии ЭВ-100:					
24 *в*	*w*=2 000; 0,44	*r*=20 *ом*			
48 *в*	*w*=4 250; 0,31	*r*=80 *ом*			
110 *в*	*w*=9 800; 0,2	*r*=450 *ом*			
220 *в*	*w*=18 900; 0,14	*r*=1 750 *ом*			

Исполнения реле ЭП-1 *Таблица 3-38*

Тип реле	$I_{ср}$, *а*	$I_{длит}$, *а*	$U_{ср}$, *в*	$U_{ном}$, *в*	$U_{длит}$, *в*	Число витков	Марка и диаметр провода	Сопротивление, *ом*	$R_{доб}$*, *ом*
Реле ЭП-1 (последовательного включения):									
ЭП-1/0,25	0,125	0,25	—	—	—	1 200	ПЭЛ-0,21	30	—
ЭП-1/0,5	0,25	0,5	—	—	—	560	ПЭЛ-0,29	7,6	—
ЭП-1/1	0,5	1,0	—	—	—	280	ПЭЛ-0,41	1,85	—
ЭП-1/2,5	1,25	2,5	—	—	—	112	ПЭЛ-0,69	0,27	—
ЭП-1/5	2,5	5,0	—	—	—	56	ПЭЛ-0,93	0,07	—
ЭП-1/7,5	3,8	7,5	—	—	—	37	ПБД-1,08	0,04	—
Реле ЭП-1 (параллельного включения)									
ЭП-1/24	—	—	12	12	26,5	3 150	ПЭЛ-0,13	245	—
ЭП-1/48	—	—	24	48	53	6 000	ПЭЛ-0,09	930	—
ЭП-1/110	—	—	55	110	121	6 000	ПЭЛ-0,09	930	1 500
ЭП-1/220	—	—	110	220	242	6 000	ПЭЛ-0,09	930	4 000

* Поставляется комплектно с реле.

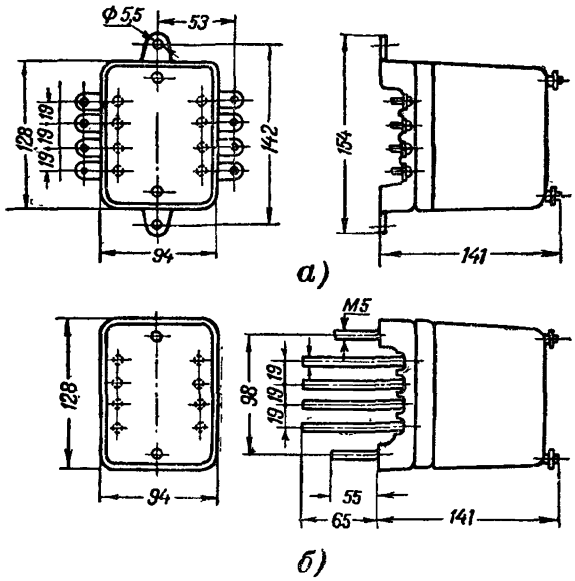


Рис. 3-50. Размеры реле времени серий ЭВ-100 и ЭВ-200.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

напряжение. Реле типов ЭВ-215—ЭВ-245 нормально находятся под напряжением и запускаются при снятии напряжения с обмотки реле.

Реле серий ЭВ-113, ЭВ-123, ЭВ-133, ЭВ-143, ЭВ-215, ЭВ-225, ЭВ-235, ЭВ-245, ЭВ-227, ЭВ-237, ЭВ-247 и ЭВ-228, ЭВ-238 и ЭВ-248 являются термически устойчивыми.

Схемы внутренних соединений даны на рис. 3-49, а размеры реле—на рис. 3-50.

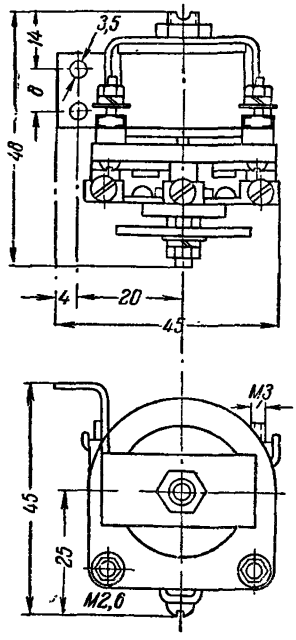


Рис. 3-51. Устройство и размеры реле типа ЭП-1.

3-20. РЕЛЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ТИПА ЭП-1

Реле применяется в цепях постоянного тока различных схем защиты и автоматики для облегчения работы контактов основного реле или удвоения замыкаемых ими цепей. Реле без кожуха, малогабаритное, с малым потреблением мощности, предназначается для встройки в корпуса других реле.

Реле электромагнитное с втягивающимся якорем (рис. 3-51) имеет сердечник с катушкой, якорь с тремя подвижными контактами, расположенными на самоустанавливающемся диске. Неподвижные контакты укреплены на изоляционной планке, которая установлена на скобе магнитопровода посредством угольника. Реле крепится на вертикальной плоскости.

При срабатывании реле якорь втягивается и подвижные контакты замыкаются с неподвижными. Таким образом, реле имеет два замыкающих контакта с общей точкой. Размеры реле приведены на рис. 3-51.

Таблица 3-39

Технические данные реле ЭП-1

Наименование параметров	Величина
$t_{ср}$ при номинальных величинах, *сек* . . .	0,04
Длительно допустимый ток замыкания контактов, *а*	5
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*) при токе 0,75 *а* и $U \leqslant 250$ *в*, *вт* . . .	100
Электрическая прочность изоляции токоведущих частей на корпус при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	1 000
Вес реле, *г*	70

3-21. РЕЛЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ СЕРИЙ ЭП-100 и ЭПВ-100

Реле применяются в схемах защит и автоматики на постоянном оперативном токе для размножения контактов для коммутации цепей с большим потреблением, а также для получения небольшой выдержки времени на срабатывание (ЭПВ-100).

Реле ЭП-100 и ЭПВ-100—клапанного типа и работают на электромагнитном принципе. На Ш-образном магнитопроводе расположена обмотка реле, якорь имеет на мостике подвижные контакты, которые при срабатывании реле замыкают или размыкают неподвижные контакты.

Конструкция реле ЭПВ-105, ЭПВ-107 и ЭПВ-108 предусматривает получение небольшой выдержки времени на срабатывание, а реле ЭПВ-106—на возврат. Замедление на возврат создается дополнительной короткозамкнутой обмоткой, замедляющей изменение магнитного потока.

Реле ЭП-100, ЭПВ-105 и ЭПВ-108 имеют по одной шунтовой обмотке, реле ЭПВ-107 имеет дополнительно еще токовую удерживающую обмотку. Схемы внутренних соединений реле приведены на рис. 3-52, а размеры — на рис. 3-53.

3-22. РЕЛЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ТИПОВ ЭПВ-11, ЭПВ-11/3, ЭПВ-11/4, ЭПВ-12 и ЭПВ-32

Реле применяются в цепях постоянного тока в различных схемах защиты и автоматики в качестве промежуточных реле в том случае, когда требуется небольшая выдержка времени при срабатывании реле (ЭПВ-11, ЭПВ-11/3, ЭПВ-11/4, ЭПВ-12) или при отпадании (ЭПВ-32).

Реле типов ЭПВ-11, ЭПВ-12 и ЭПВ-32 являются электромагнитными реле клапанного типа, имеющим Ш-образный магнитопровод, на среднем стержне которого находятся обмотки реле и короткозамкнутые медные демпферные шайбы. У реле типов ЭПВ-11 и ЭПВ-12 эти шайбы расположены над катушкой, вследствие чего эти реле имеют выдержку времени при срабатывании, так как при подаче напряжения на рабочую обмотку

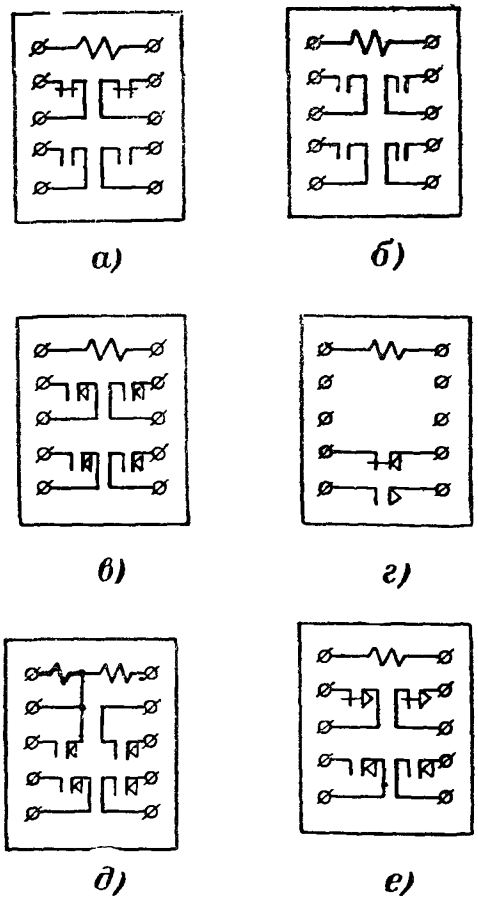


Рис. 3-52. Схемы внутренних соединений реле.
а — ЭП-101; *б* — ЭП-103; *в* — ЭПВ-105; *г* — ЭПВ-106; *д* — ЭПВ-107; *е* — ЭПВ-108.

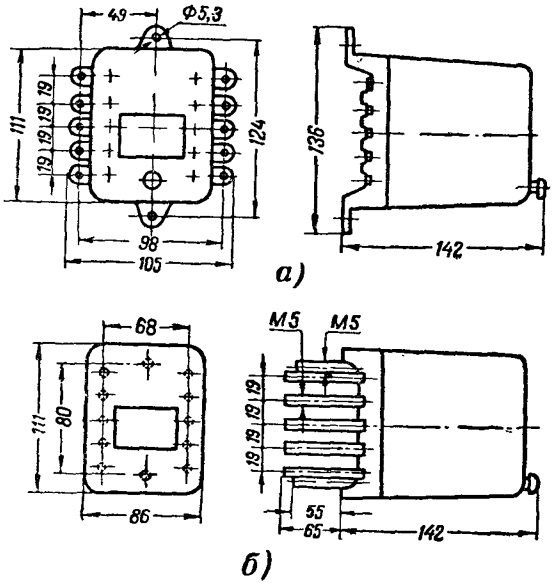


Рис. 3-53. Размеры реле серий ЭП-100 и ЭПВ-100.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

реле в демпферных шайбах наводится э. д. с., которая замедляет нарастание магнитопровода потока. У реле типа ЭПВ-32 шайбы расположены под катушкой и имеется еще короткозамкнутая обмотка. Поэтому реле обладает выдержкой времени на отпадание, так как при снятии напряжения с реле благодаря наличию к. з. обмотки и демпферных шайб происходит замедленное спадание магнитного потока. Выдержка времени на от-

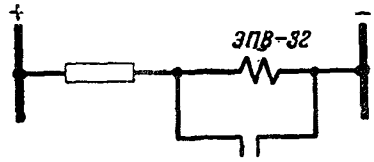


Рис. 3-54. Получение выдержки времени на отпадание реле ЭПВ-32 путем закорачивания его обмотки.

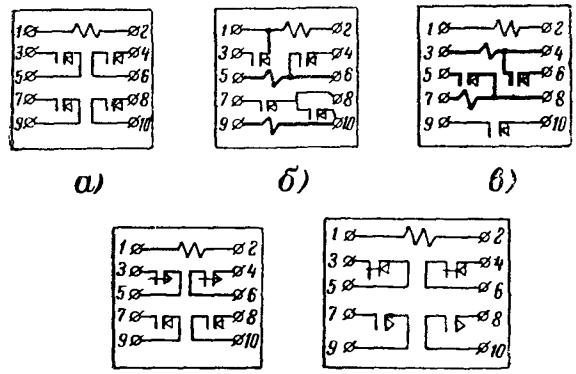


Рис. 3-55. Схемы внутренних соединений промежуточных реле.
а — ЭПВ-11; *б* — ЭПВ-11/3; *в* — ЭПВ-11/4; *г* — ЭПВ-12; *д* — ЭПВ-32.

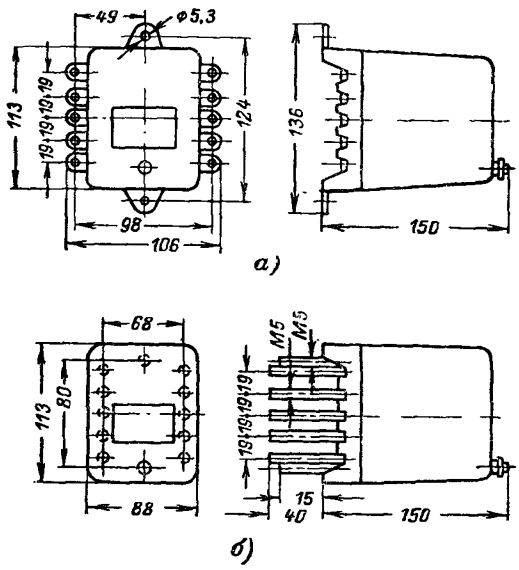


Рис. 3-56. Размеры реле серий ЭПВ-11, ЭПВ-12 и ЭПВ-32.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Таблица 3-40

Исполнение реле серий ЭП-100, ЭПВ-100

Тип реле	$U_{ном}$, *в*	$P_{потр}$, *вт*	Количество контактов		Число витков	Марка и диаметр провода	R обмоток, *ом*
			замыкающих	размыкающих			
ЭП-101-А/220 ЭП-103-А/220	220	—	2 4	2 —	40 000	ПЭЛ-0,09	9 400
ЭП-101-А/110 ЭП-103-А/110	110	—	2 4	2 —	18 500	ПЭЛ-0,14	2 150
ЭП-101-А/48 ЭП-103-А/48	48	—	2 4	2 —	8 700	ПЭЛ-0,2	425
ЭП-101-А/24 ЭП-103-А/24	24	—	2 4	2 —	4 100	ПЭЛ-0,29	100
ЭПВ-105/220 ЭПВ-108/220	220	16	4 2	— 2	—	—	2 900
ЭПВ-105/110 ЭПВ-108/110	110	12	4 2	— 2	—	—	1 000
ЭПВ-105/48 ЭПВ-108/48	48	11	4 2	— 2	—	—	200
ЭПВ-105/24 ЭПВ-108/24	24	13	4 2	— 2	—	—	45
ЭПВ-106/220 ЭПВ-106/110 ЭПВ-106/48 ЭПВ-106/24	220 110 48 24	— — — —	1 1 1 1	1 1 1 1	— — — —	— — — —	10 000 2 400 450 100

Таблица 3-41

Технические данные реле серий ЭП-100, ЭПВ-100

Наименование параметра	Величина			
	ЭП-101 ЭП-103	ЭПВ-106	ЭПВ-105 ЭПВ-108	ЭПВ-107
$U_{ср}$, % $U_{ном}$	70			
$I_{ср}$, % $I_{ном}$	—			100
$t_{ср}$ при $U_{ном}$, *сек*	0,01		0,01—0,05	
Время возврата при снятии напряжения (и тока) отключением обмотки от цепи, *сек*	0,02	0,25	0,02	
Время термической устойчивости при 1,1 $U_{ном}$	Длительно		15 *мин*	Кратковременно
Прочность изоляции токоведущих частей относительно магнитопровода при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000			
Вес реле, *кг*	0,9			

Таблица 3-42

Технические данные обмоток реле ЭПВ-107

Обмотка напряжения		Обмотка тока		Количество контактов	
$U_{ном}$, *в*	$P_{потр}$, *вт*	$I_{ср}$, *а*	R, *ом*	замыкающих	размыкающих
220	28	1 2 4	11 3 0,8	4	—
110	28	1 2 4	11 3 0,8		

Таблица 3-43

Коммутационная способность контактов реле серий ЭП-100 и ЭПВ-100

Нагрузка	Напряжение, *в*		Ток, *а*	
	Постоянный ток	Переменный ток	длительный	максимальный на размыкание
Без самоиндукции	220 110	— —	5 5	1 5
С самоиндукцией	220 110 	 220 110	5 5 5 5	0,5 4 5 10

падание может быть увеличена включением реле ЭПВ-32 по схеме рис. 3-54.

В реле типа ЭПВ-32 во избежание залипания якоря после обесточения катушки между торцом скобы магнитопровода и якорем имеется немагнитная пластинка толщиной 0,1 *мм*, укрепленная на якоре.

Реле типов ЭПВ-11, ЭПВ-12 и ЭПВ-32 имеют на якоре подвижные контакты мостикового типа, а неподвижные—на скобе магнитопровода.

Таблица 3-44

Количество обмоток и контактов реле ЭПВ-11, ЭПВ-12 и ЭПВ-32

Тип реле	Обмотки	Контакты	
		замыкающие	размыкающие
ЭПВ-11 ЭПВ-12	Напряжения (рабочая)	4 2	— 2
ЭПВ-11/3 ЭПВ-11/4	Напряжения (рабочая) две токовые (удерживающие)	4 3	— —
ЭПВ-32	Напряжения (рабочая) короткозамкнутая	2	2

Схемы внутренних соединений реле приведены на рис. 3-55, а размеры — на рис. 3-56.

Таблица 3-45

Исполнения реле ЭПВ-11, ЭПВ-12 и ЭПВ-32

Тип реле	$U_{ном}$ постоянного тока, *в*	$I_{ном}$, *а*
ЭПВ-11 ЭПВ-12 ЭПВ-32	24, 48, 110, 220	—
ЭПВ-11/3, ЭПВ-11/4	24, 48	2, 4, 6
	110, 220	1, 2, 4,

Таблица 3-46

Коммутационная способность контактов реле ЭПВ-11, ЭПВ-12, ЭПВ-32

Нагрузка	U, *в*		Максимальный ток размыкания, *а*		$I_{длит}$, *а*	
	постоянного тока	переменного тока	ЭПВ-11 ЭПВ-12	ЭПВ-32	ЭПВ-11 ЭПВ-12	ЭПВ-32
Без самоиндукции	220 110		1 5	1 5	5 5	2 2
С самоиндукцией (T= $=5\cdot10^{-3}$ *сек*)	220 110	 220 110	4 4 5 10	0,5 4 5 10	5 5 5 5	2 2 2 2

Таблица 3-47

Технические данные реле ЭПВ-11, ЭПВ-12, ЭПВ-32

Наименование параметра	ЭПВ-11 ЭПВ-12	ЭПВ-11/3 ЭПВ-11/4	ЭПВ-32
$t_{ср}$ при подаче $U_{ном}$, не менее, *сек*	0,06		—
Время отпадания при снятии напряжения $U_{ном}$ с катушки реле, находившейся под напряжением более 0,5 *сек*, не менее, *сек*	—	—	0,4
Время отпадания при снятии напряжения $U_{ном}$ с катушки путем ее закорачивания (по схеме рис. 3-54), *сек*	—	—	0,8
$U_{ср}$, % $U_{вом}$	70		

Продолжение табл. 3-47

Наименование параметра	ЭПВ-11 ЭПВ-12	ЭПВ-11/3 ЭПВ-11/4	ЭПВ-32
Ток удерживания притянутого якоря (при отсутствии напряжения на рабочей катушке), % $I_{ном}$	—	80	—
Термическая устойчивость: обмоток напряжения к $U = 1{,}1\,U_{ном}$	Длительно		
обмоток тока к $3\,I_{ном}$, *сек*	—	5	—
$P_{потр}$: обмоток напряжения при $U_{ном}$, *вт*	3	5	6
каждой обмотки тока при $I_{ном}$, *вт*	—	2,5	—
Электрическая прочность изоляции токоведущих частей относительно магнитопровода при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000		
Допустимое число включений при обесточенных контактах без механических повреждений	15 000		
Вес реле, *кг*	1,1		

3-23. РЕЛЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ТИПА ЭП-41-Б

Реле применяются в качестве вспомогательных реле в схемах управления и защиты переменного тока 50 *гц* напряжением до 500 *в* в тех случаях, когда мощность или количество контактов основных реле недостаточны.

Реле выполнено на электромагнитном принципе с магнитопроводом клапанного типа. На металлическом цоколе *1* (рис. 3-57) укреплен магнитопровод *2* со втягивающей катушкой *3*. Якорь *4* связан со стальным стержнем *5*, на котором имеются подвижные контакты *6* мостикового типа, закрепленные между изоляционными втулками *7*. На пластмассовой панели *8* установлены неподвижные контакты *9*. Необходимое нажатие подвижных контактов создается при помощи пружин *10*. Реле изготавливаются двух исполнений—с тремя или шестью контактами.

Размеры реле и конструкция даны на рис. 3-57.

3-24. РЕЛЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ТИПОВ РП-23, РП-24, РП-25 И РП-26

Реле применяются в цепях постоянного тока (реле РП-23 и РП-24) и переменного оперативного тока (реле РП-25 и РП-26) в качестве вспомогательных реле для увеличения числа контактов и коммутации цепей с большим потреблением.

Реле выполнены на электромагнитном принципе с магнитной системой клапанного типа. Якорь реле имеет хвостовик, который воздействует на шток с по-

Обмоточные данные реле ЭПВ-11, ЭПВ-12, ЭПВ-32 *Таблица 3-48*

Тип реле	$U_{ном}$	$I_{ном}$	Токовые обмотки (нижние): Число витков Обмотка I	Число витков Обмотка II	Марка и диаметр провода	R, ом Обмотка I	R, ом Обмотка II	Обмотка напряжения (верхняя): Число витков	Марка и диаметр провода	R, ом
ЭПВ-11	24	—	—	—	—	—	—	5 500	ПЭЛ-0,23	208
	48	—	—	—	—	—	—	13 000	ПЭЛ-0,17	940
ЭПВ-12	110	—	—	—	—	—	—	24 500	ПЭЛ-0,11	4 150
	220	—	—	—	—	—	—	50 000	ПЭЛ-0,08	17 000
ЭПВ-11/3; ЭПВ-11/4	24	2	110	110	ПЭЛ-0,59	0,38	0,44	3 140	ПЭЛ-0,25	120
		4	55	55	ПЭЛ-0,86	0,09	0,11			
		6	40	40	ПЭЛ-1,0	0,05	0,06			
	48	2	110	110	ПЭЛ-0,59	0,38	0,44	6 280	ПЭЛ-0,18	480
		4	55	55	ПЭЛ-0,86	0,09	0,11			
		6	40	40	ПЭЛ-1,0	0,05	0,06			
	110	1	220	220	ПЭЛ-0,44	1,4	1,65	14 300	ПЭЛ-0,12	2 500
		2	110	110	ПЭЛ-0,59	0,38	0,44			
		4	55	55	ПЭЛ-0,86	0,09	0,11			
	220	1	220	220	ПЭЛ-0,44	1,4	1,65	28 600	ПЭЛ-0,08	10 000
		2	110	110	ПЭЛ-0,59	0,38	0,44			
		4	55	55	ПЭЛ-0,86	0,09	0,11			
ЭПВ-32	24	Короткозамкнутая обмотка		335	ПЭЛ-0,8	—	—	2 800	ПЭЛ-0,27	100
	48							5 300	ПЭЛ-0,18	445
	110							11 500	ПЭЛ-0,12	2 200
	220							26 000	ПЭЛ-0,08	10 000

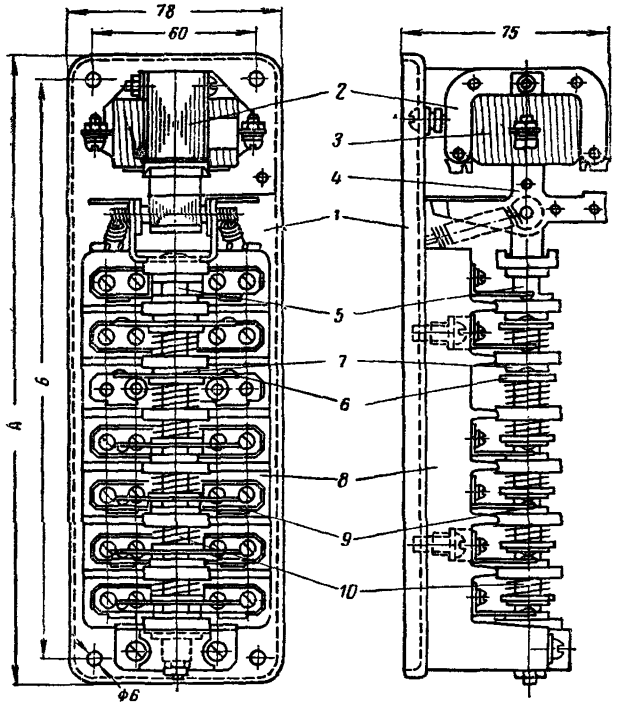


Рис. 3-57. Конструкция и размеры реле (типа ЭП 41/24-Б). Размеры *А* и *Б* соответственно равны: для трехцепного реле 178 и 160 *мм*, для шестицепного 238 и 220 *мм*.

Таблица 3-49

Технические данные реле ЭП41-Б

Тип и исполнение	$U_{ном}$ переменного тока, *в*	Количество контактов		Вес, *кг*
		замыкающих	размыкающих	
Трехцепные:				
ЭП41/03-Б		—	3	
ЭП41/12-Б	24, 48	1	2	1,1
ЭП41/21-Б	127, 220,	2	1	
ЭП41/30-Б	380 и 500	3	—	
Шестицепные				
ЭП41/06-Б		—	6	
ЭП41/15-Б		1	5	
ЭП41/24-Б		2	4	1,3
ЭП41/33-Б		3	3	
ЭП41/42-Б		4	2	
ЭП41/51-Б		5	1	
ЭП41/60-Б		6	—	

движными контактами. Неподвижные контактные угольники укреплены непосредственно на зажимных втулках реле.

Реле изготавливаются с четырьмя замыкающими и одним размыкающим контактами. При перестановке (на 180°) неподвижных контактных угольников могут быть получены следующие комбинации контактов:

1) два размыкающих и три замыкающих контакта;
2) три размыкающих и два замыкающих контакта;

Таблица 3-50

Коммутационная способность контактов реле ЭП41-Б

Род тока	$U_{ном}$, *в*	Разрывная способность в цепи с индуктивной нагрузкой, *а*	$I_{длит}$, *а*
Постоянный	110	1	20
	220	1,5	
	440	0,5	
Переменный, 50 *гц*	220	30	
	380	20	
	500	15	

3) четыре размыкающих и один замыкающий контакт.

При снятии напряжения возврат подвижной системы происходит под действием пружины, расположенной на штоке с подвижными контактами.

Реле типов РП-24 и РП-26 имеют указатель срабатывания, ручной возврат которого производится без снятия кожуха.

Схемы внутренних соединений реле даны на рис. 3-58, а размеры — на рис. 3-59.

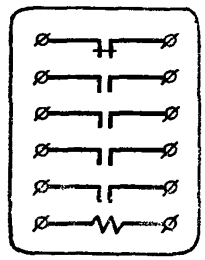


Рис. 3-58. Схема внутренних соединений реле РП-23—РП-26.

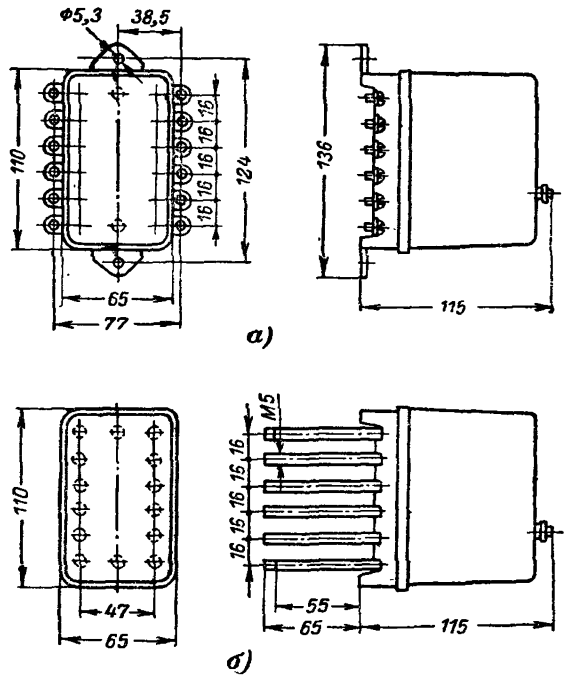


Рис. 3-59. Размеры реле РП-23—РП-26.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Таблица 3-51

Коммутационная способность контактов реле типов РП-23—РП-26

Нагрузка	$U_{ном}$, в		Максимальный ток размыкания, а
	Постоянный ток	Переменный ток	
Без индукции	220	—	1
	110	—	5
С самоиндукцией (T= =5·10^{-3} сек)	220	—	0,5
	110	—	4
	—	220	5
	—	110	10

3-25. РЕЛЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ТИПОВ РП-211, РП-212, РП-213, РП-214 И РП-215

Реле применяются в качестве быстродействующих промежуточных или выходных реле в цепях постоянного тока различных схем защиты.

Реле выполнены на электромагнитном принципе с магнитопроводом клапанного типа. Механизм и добавочные активные сопротивления смонтированы на пластмассовом цоколе и закрыты кожухом.

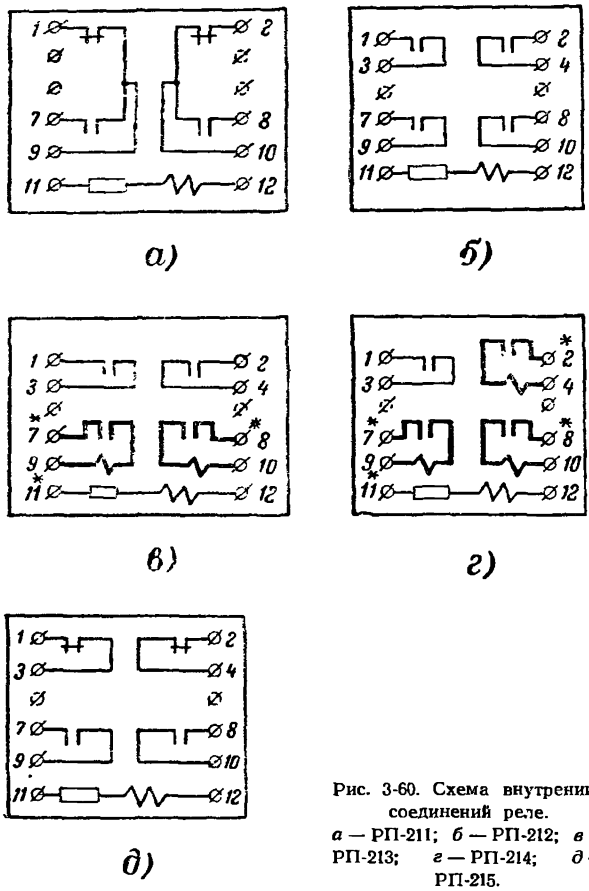


Рис. 3-60. Схема внутренних соединений реле.
а — РП-211; *б* — РП-212; *в* — РП-213; *г* — РП-214; *д* — РП-215.

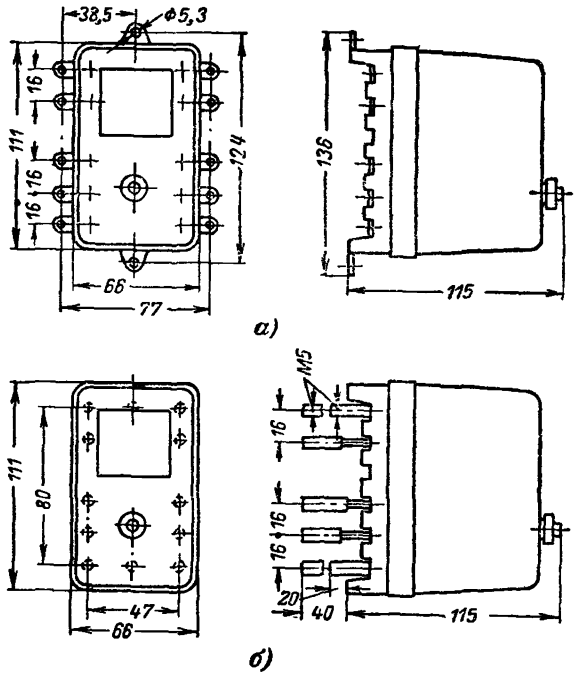


Рис. 3-61. Размеры реле типов РП-211—РП-215.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Схема внутренних соединений дана на рис. 3-60, а размеры — на рис. 3-61.

Реле выполняются только с обмотками напряжения (РП-211, РП-212, РП-215) и с обмотками напряжения и удерживающими обмотками тока (РП-213 и РП-214). Реле РП-211 имеет два переключающих контакта, реле РП-215—два замыкающих и два размыкающих контакта, а остальные реле — четыре замыкающих контакта.

3-26. РЕЛЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ТИПОВ ЭП-131, ЭП-132, РП-232 И РП-233

Реле применяются в схемах постоянного тока защиты и автоматики, когда требуется действие реле от тока и удерживание от напряжения (реле ЭП-131 и РП-232), например в схемах АПВ для предотвращения прыгания выключателя, или действие от напряжения и удерживание от тока (реле ЭП-132 и РП-233).

Реле ЭП-131, ЭП-132, РП-232 и РП-233 электромагнитные, с магнитной системой клапанного типа.

Реле имеют мостиковые подвижные контакты, которые в реле ЭП-131, ЭП-132 укреплены на якоре, а в реле РП-232 и РП-233—на штоке, связанном с якорем.

Схема реле дана на рис. 3-62. Реле ЭП-131 и ЭП-132 имеют такие же размеры, как реле ЭПВ-11, ЭПВ-12, а реле РП-232 и РП-233 — как реле типов РП-23—РП-26.

3-27. РЕЛЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ТИПОВ РП-251, РП-252, РП-253, РП-254, РП-255 И РП-256

Реле применяются в цепях постоянного (реле РП-251—РП-255) и переменного тока (реле РП-256) в различных схемах защит и автоматики в качестве вспомогательных реле.

Таблица 3-52

Технические данные реле типов РП-23—РП-26

Наименование параметра	РП-23	РП-24	РП-25	РП-26
$U_{ном}$, *в*	12, 24, 48, 110 и 220 постоянного тока		100, 127 и 220 переменного тока	
$U_{ср}$, % $U_{ном}$ $U_{в}$, % $U_{ном}$ $t_{ср}$ при $U_{ном}$, *сек*	70 3 Не более 0,06		85 5	
Время термической устойчивости при 1,1 $U_{ном}$	Длительно			
$P_{потр}$ при $U_{ном}$, *вт (ва)*	6		5	
Длительно допустимый ток замыкания контактов, *а*	5			
Количество допустимых срабатываний без повреждений механизма (при обесточенных контактах)	100 000			
Электрическая прочность изоляции токоведущих частей относительно магнитопровода при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000			
Обмоточные данные реле: 220 *в*	w=35 000 ПЭВ 1-0,09 r = 8 500 *ом*		—	
110 *в*	w=21 000 ПЭВ 1-0,12 r = 2 750 *ом*		—	
48 *в*	w = 9 000 ПЭВ 1-0,19 r = 480 *ом*		— — —	
24 *в*	w = 4 500 ПЭВ-1-0,27 r = 120 *ом*			
Вес реле, *кг*	0,7			

Таблица 3-53

Исполнения реле серии РП-210

Тип реле	РП-211	РП-212	РП-213	РП-214	РП-215
Количество удерживающих обмоток	—	—	2	3	—
$U_{ном}$ параллельной обмотки, *в*	110, 220				
$I_{ном}$ удерживания каждой обмотки тока, *а*	—		1, 2, 4		—

Таблица 3-54

Технические данные реле серии РП-210

Наименование параметра		Величина			
		РП-211 РП-215	РП-212	РП-213	РП-214
$t_{ср}$ при $U_{ном}$, *сек*		Не более 0,01			
Напряжение срабатывания, % $U_{ном}$		50		60	
Ток удерживания, % $I_{ном}$		—		80	
$P_{потр}$	обмотки напряжения при $U_{ном}$, *вт*	5	6	8	
	каждой обмотки при $I_{ном}$, *вт*	—		1,2	2
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*) при $U = 220$ *в* и токе до 2 *а*, *вт*		50			
Ток замыкания контактов в течение 10 *сек*, *а*		10			
Вес реле, *кг*		0,7			

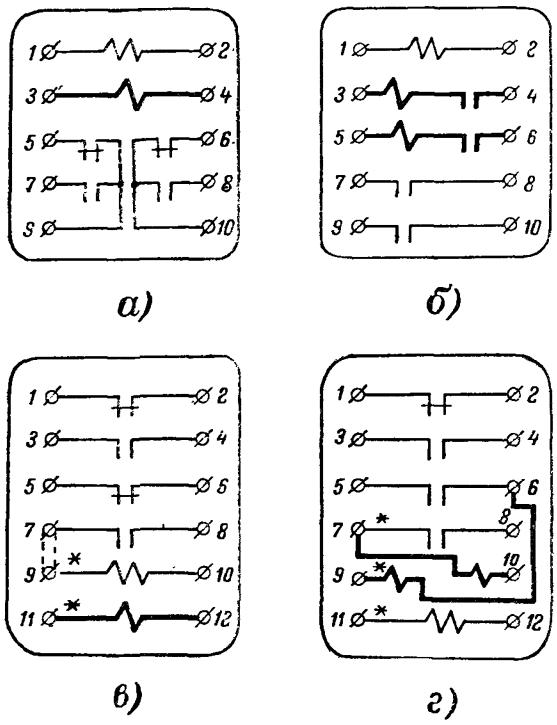


Рис. 3-62. Схема внутреннних соединений.
а — реле ЭП-131; *б* — реле ЭП-132; *в* — реле ЭП-232; *г* — реле РП-233.

Таблица 3-55

Исполнение реле серий ЭП-130, РП-230

Тип реле	Номинальные данные	
	$U_{ном}$, *в*	$I_{ном}$, *а*
ЭП-131	110	1 2 4
	220	1 2 4
ЭП-132, РП-232 и РП-233	24	1 2 4
	48	1 2 4
	110	1 2 4
	220	1 2 4

Реле типов РП-251—РП-255 представляют собой электромагнитные реле клапанного типа.

Реле РП-251 имеет замедление на срабатывание, а реле РП-252, РП-254 и РП-256 — на возврат. Реле РП-251, РП-252 и РП-256 имеют по пять замыкающих контактов с двойным разрывом каждый.

Реле РП-253, кроме обмотки напряжения, имеет три токовые удерживающие обмотки и демпферную обмотку. Реле имеет четыре замыкающих контакта и один специальный размыкающий в цепи демпферной обмотки.

Реле РП-254 имеет рабочую токовую обмотку (последовательную), параллельную удерживающую и демпферную обмотки. Реле имеет два замыкающих, один

Таблица 3-56

Количество обмоток и контактов реле серий ЭП-130, РП-230

Тип реле	Обмотки	Контакты	
		замыкающие	размыкающие
ЭП-131	Токовая (рабочая) Напряжения (удерживающая)	2	2
РП-232		С общей точкой у каждой пары контактов 2	2
ЭП-132	Напряжения (рабочая) Две токовые (удерживающие)	4	—
РП-233		3	1

Таблица 3-57

Коммутационная способность контактов реле серий ЭП-130, РП-230

Нагрузка	$U_{ном}$, *в*		Длительный ток замыкания, *а*		Максимальный ток размыкания, *а*
	постоянного тока	переменного тока	ЭП-131 РП-232 РП-233	ЭП-132	
Без самоиндукции	220	—	5	2	1
	110	—	5	2	5
С самоиндукцией ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*)	220	—	5	2	0,5
	110	—	5	2	4
	—	220	5	2	5
	—	110	5	2	10

Таблица 3-58

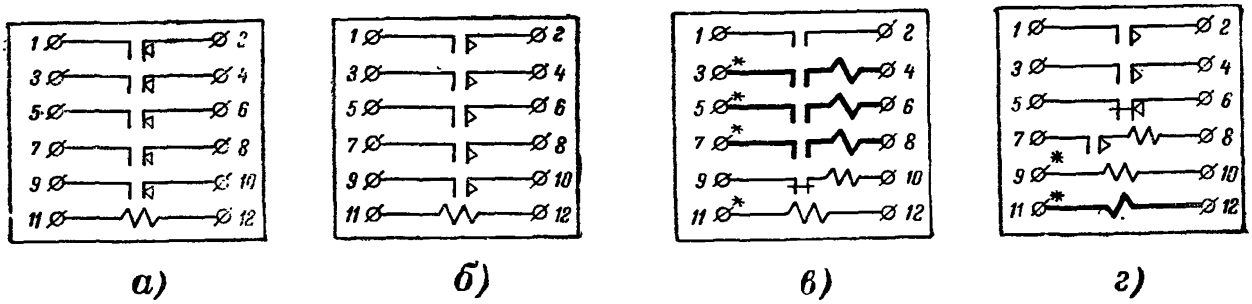
Технические данные реле серий ЭП-130, РП-230

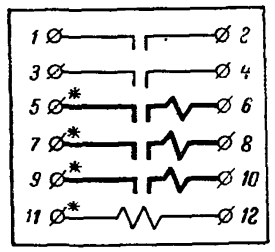
Наименование параметра	ЭП-131	РП-232	ЭП-132	РП-233
Реле срабатывает при обесточенных удерживающих обмотках, если к рабочим обмоткам подведено:				
ток, % $I_{ном}$	100		—	
напряжение, % $U_{ном}$	—		70	
Якорь реле удерживается в притянутом состоянии при обесточенной рабочей обмотке, если к одной из удерживающих обмоток подведено:				
напряжение, % $U_{ном}$	70		—	
ток, $I_{ном}$	—		70	80
Величина $U_в$ или $I_в$ реле, % $U_{ном}$ или % $I_{ном}$, в рабочей обмотке	3			
$t_{ср}$ при подведении к рабочей обмотке $U_{ном}$ или $I_{ном}$, не более, *сек*	—	0,06		0,03
Термическая устойчивость:				
обмотки напряжения 1,1 $U_{ном}$, *сек*	Длительно			20
обмотки тока, *сек*				
$3\,I_{ном}$	2	3		—
$1{,}25\,I_{ном}$	—	—		10
$P_{нотр}$ при номинальном значении:				
обмотки напряжения, *вт*	4			20
каждой обмотки тока, *вт*	—	6		3
Допустимое количество срабатываний без повреждения механизма при обесточенных контактах	15 000			
Электрическая прочность изоляции токоведущих частей относительно магнитопровода при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000			
Изоляция между обмотками катушек реле при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	—	1 000		
Вес реле, *кг*	0,9	0,7		

Таблица 3-59

Обмоточные данные реле ЭП-131 и ЭП-132

Реле	$U_{ном}$, в	$I_{ном}$, а	Токовые обмотки (нижние)					Обмотка напряжения (верхняя)		
			Число витков w		Марка и диаметр провода, мм	r, ом		Число витков	Марка и диаметр провода, мм	r, ом
			Обмотка I	Обмотка II		Обмотка I	Обмотка II			
ЭП-131	48	1	1 000	—	ПЭЛ-0,44	8	—	7 000	ПЭЛ-0,15	790
		2	500	—	ПЭЛ-0,64	2	—			
		4	250	—	ПЭЛ-0,8	0,6	—			
	110	1	1 000	—	ПЭЛ-0,44	8	—	14 200	ПЭЛ-0,11	3 150
		2	500	—	ПЭЛ-0,64	2	—			
		4	250	—	ПЭЛ-0,8	0,6	—			
	220	1	1 000	—	ПЭЛ-0,44	8	—	24 800	ПЭЛ-0,08	10 300
		2	500	—	ПЭЛ-0,64	2	—			
		4	250	—	ПЭЛ-0,8	0,6	—			
ЭП-132	24	1	340	340	ПЭЛ-0,49	2	2,65	1 300	ПЭЛ-0,35	26
		2	170	170	ПЭЛ-0,69	0,5	0,65			
		4	85	85	ПЭЛ-1	0,14	0,16			
ЭП-132	48	1	340	340	ПЭЛ-0,49	2	2,65	2 900	ПЭЛ-0,25	118
		2	170	170	ПЭЛ-0,69	0,5	0,65			
		4	85	85	ПЭЛ-1,0	0,14	0,16			
	110	1	340	340	ПЭЛ-0,49	2	2,65	6 700	ПЭЛ-0,17	610
		2	170	170	ПЭЛ-0,69	0,5	0,65			
		4	85	85	ПЭЛ-1,0	0,14	0,16			
	220	1	340	340	ПЭЛ-0,49	2	2,65	12 200	ПЭЛ-0,12	2 200
		2	170	170	ПЭЛ-0,69	0,5	0,65			
		4	85	85	ПЭЛ-1,0	0,14	0,16			





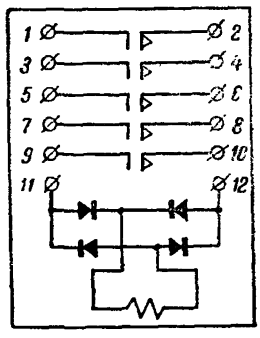


Рис. 3-63. Схема внутренних соединений.
а — реле РП-251; *б* — реле РП-252; *в* — реле РП-253; *г* — реле РП-254; *д* — реле РП-255; *е* — реле РП-256.

размыкающий контакты и один специальный замыкающий контакт в цепи демпферной обмотки.

Реле РП-255 аналогично реле РП-253, но у него отсутствует демпферная обмотка; реле имеет пять замыкающих контактов. Реле РП-256 присоединяется к сети переменного тока через выпрямительный мост из полупроводниковых диодов.

В конструкции реле серии РП-250 предусмотрена возможность превращения замыкающих контактов в размыкающие и наоборот путем перестановки контактных подвижных мостиков.

Схема внутренних соединений реле приведена на рис. 3-63, а общий вид и размеры — на рис. 3-64.

Таблица 3-60

Технические данные реле РП-250

Наименование параметра		РП-251	РП-252	РП-253	РП-255	РП-254	РП-256
$U_{ном}$ постоянного тока, *в*		24, 48, 110 и 220				110	—
$U_{ном}$ переменного тока, *в*							24, 48, 110 и 220
$I_{ном}$ токовых обмоток, *а*		—		1, 2 и 4			—
$U_{ср}$ ($I_{ср}$) рабочих обмоток, % $U_{ном}$ (% $I_{ном}$)		—		Не более 70			
$U_{в}$ ($I_{в}$) рабочих обмоток, % $U_{ном}$ (% $I_{ном}$)		—		Не менее 5			
Ток (напряжение) удерживания от одной удерживающей обмотки при отсутствии напряжения (тока) на рабочей обмотке, % $I_{ном}$ (% $U_{ном}$)		—		Не более 80		Не более 65	—
Время термической устойчивости обмоток: напряжения при 1,1 $U_{ном}$, *сек*		Длительно		20	Длительно		
тока при 2 $I_{ном}$, *сек*		—		10	10	—	—
То же при 3 $I_{ном}$, *сек*		—		—	—	3	—
Количество контактов		5 замыкающих		4 замыкающих и 1 размыкающий	5 замыкающих	3 замыкающих и 1 размыкающий	5 замыкающих
$P_{потр}$ обмоток: напряжения при $U_{ном}$, *вт*, (*ва*)		6	7	15	6	3	8
тока (каждой) при $I_{ном}$, *вт*		—	—	1		6	—
$t_{ср}$ при: 0,95 $U_{ном}$, *сек*		—	—	⩽0,04 — демпферная обмотка разомкнута ⩾0,07 — демпферная обмотка замкнута	—	—	—
$U_{ном}$ ($I_{ном}$), *сек*		—	—	—	⩽0,05		—
$t_{ср}$, *сек*		0,07—0,12 на замыкание	До 1,1 на отпадание	—		До 0,5 на отпадание	До 1,1 на отпадание
Обмоточные данные: Демпферная обмотка		—	—	w_1=1 000 ПЭВ2-0,41	—	w_1=600 ПЭВ2-0,47	—
Параллельная обмотка	220 *в*	—	w=25 000 ПЭВ2-0,08	w_2=11 000 ПЭВ2-0,07 r=4 400 *ом*	—	—	—
	110 *в*	—	—	w=5 500 ПЭВ2-0,1 r=1 100 *ом*	—	w_2=10 900 ПЭВ2-0,07 r=4 400 *ом*	—
	48	—	—	w_2=2 400 ПЭВ2-0,15 r=210 *ом*	—	—	—

Продолжение табл. 3-60

Наименование параметра		РП-251	РП-252	РП-253	РП-255	РП-254	РП-256
	24	—	—	w_2=1 200 ПЭВ2-0,21 r=53 *ом*	—	—	—
Последовательная обмотка	1 *а*	—	—	w_3=w_4=100 ПЭВ2-0,8	—	w_3=650 ПЭВ2-0,47	—
	2 *а*	—	—	w_3=w_4=50 ПЭВ2-0,93	—	w_3=325 ПЭВ2-0,64	—
	4 *а*	—	—	w_3=w_4=25 ПЭВ2-1	—	w_3=165 ПЭВ2-0,93	—
Электрическая прочность изоляции токоведущих частей относительно магнитопровода при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		2 000					
Изоляция между обмотками при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		—	—	1 000			—
Вес реле, *кг*		1,1		1,3			

Таблица 3-61

Коммутационная способность контактов реле серии РП-250

Нагрузка	$U_{ном}$ постоянного тока, *в*	$U_{ном}$ переменного тока, *в*	Максимальный ток размыкания, *а*
Активная	220	—	1
	110	—	5
Индуктивная (T=5·10^{-3} *сек*)	220	—	0,5
	110	—	2
	—	220	5
	—	110	10

3-28. РЕЛЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ТИПОВ РП-311, РП-321, РП-341

Реле применяются в цепях оперативного переменного тока. Реле РП-311 используется в качестве вспомогательного реле в тех случаях, когда недостаточны коммутационная способность и количество контактов основных реле защиты .Реле РП-321 и РП-341 предназначены для непосредственного включения во вторичную цепь измерительных трансформаторов тока и могут управляться контактами других реле.

Реле выполнены на электромагнитном принципе с магнитной системой клапанного типа. Подвижные и неподвижные контактные пластинки укреплены на скобе магнитопровода при помощи изоляционных колодок. Якорь реле перемещает через толкатель подвижные контакты.

Обмотка реле РП-311 включается непосредственно в цепь переменного тока, а обмотка реле РП-321 и РП-341 включается через встроенный в реле насыщающийся трансформатор и выпрямительный мост из германиевых диодов типа ДГ-Ц27 (рис. 3-65).

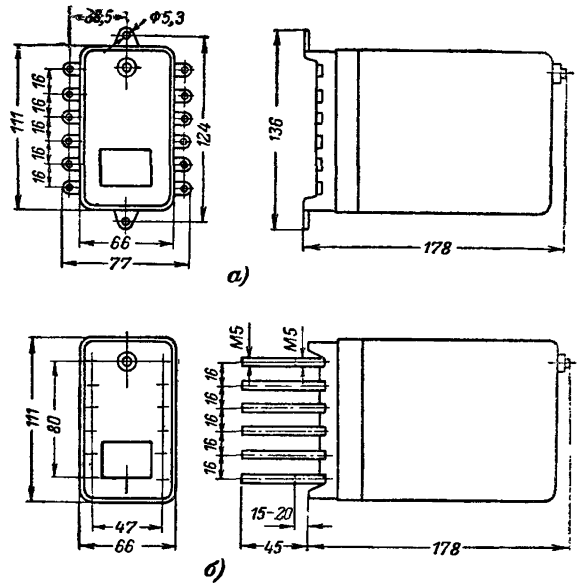


Рис. 3-64. Размеры реле РП-251—РП-255.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Для сглаживания пиков перенапряжений параллельно вторичной обмотке трансформатора включен конденсатор.

Первичная обмотка насыщающегося трансформатора включается в цепь трансформаторов тока. Изменением схемы включения ее секций (параллельно или последовательно) можно изменять ток срабатывания реле.

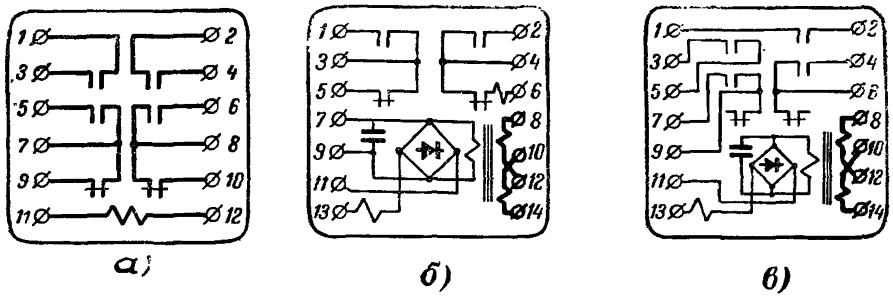


Рис. 3-65. Схема внутренних соединений реле.
а — РП-311; *б* — РП-321; *в* — РП-341.

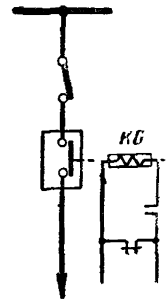


Рис. 3-66. Схема включения усиленного контакта реле РП-341 в цепь катушки отключения выключателя (*КО*).

Цепь обмотки реле РП-321 и РП-341 имеет разрыв на зажимах *11-13*, которые позволяют осуществлять пуск реле замыкающими контактами управляющего реле.

Допускается последовательно с контактом управляющего реле включать катушку одного сигнального реле типа ЭС-21/0,05 или двух параллельно включенных типа ЭС-21/0,025.

Реле РП-341 имеет дополнительные выводы *7-9* для включения размыкающего контакта управляющего реле. В этом случае к зажимам *11-13* подключаются указанные сигнальные реле или они объединяются перемычкой, если применение сигнальных реле не предусмотрено. Реле РП-311 и РП-321 имеют по два переключающих и по два замыкающих контакта. В реле РП-321 на зажимы выведены только замыкающие контакты. Реле РП-341 имеет два переключающих контакта: один — нормальной мощности, другой — усиленный мостящего типа.

Усиленные контакты рекомендуется включать по схеме рис. 3-66. Размеры реле даны на рис. 3-67 и 3-68.

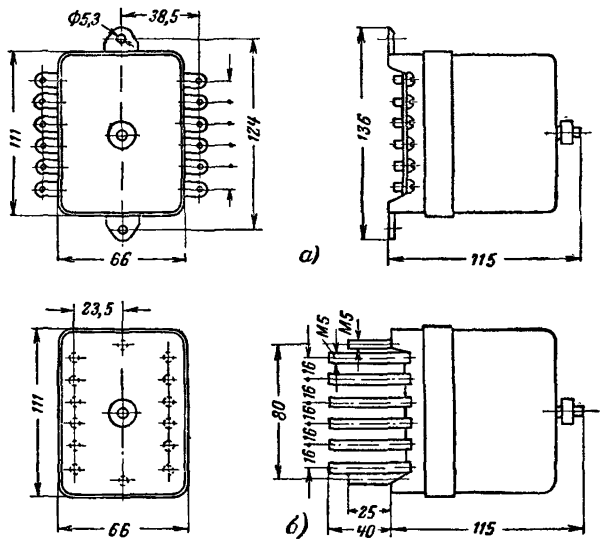


Рис. 3-67. Размеры реле РП-311.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

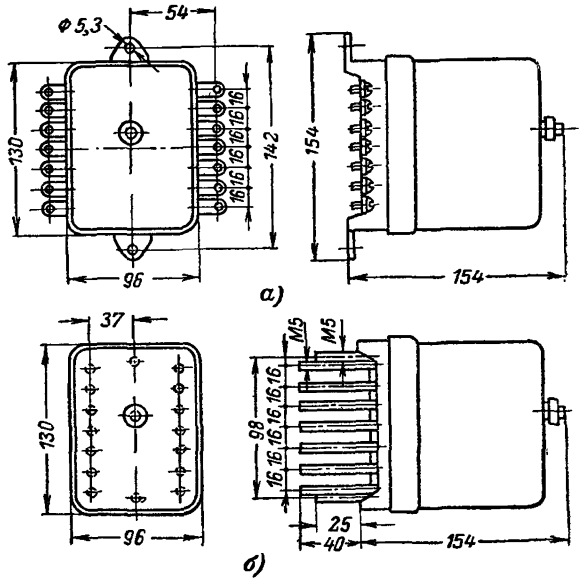


Рис. 3-68. Размеры реле РП-321 и РП-341.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

3-29. РЕЛЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ДВУХПОЗИЦИОННЫЕ ТИПОВ РП-351 и РП-352

Реле применяются в цепях переменного (РП-351) и постоянного тока (РП-352) в качестве вспомогательных реле в различных схемах автоматики и управления.

Реле выполнено на электромагнитном принципе; оно имеет две магнитные системы с обмотками, между полюсами магнитных систем расположен якорь, который может поворачиваться на призме и притягиваться к любой магнитной системе. В каждом случае его конечные положения фиксируются пружиной.

В верхней части якорь имеет толкатель, переключающий контакты реле при притягивании его к одной или другой системе.

Последовательно с каждой из обмоток включены блокирующие контакты таким образом, что напряжение может попасть на обмотку подготовленной к действию магнитной системы, т. е. той, к которой не притянут якорь.

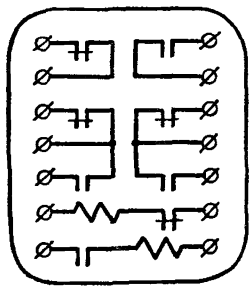
При подаче импульса на обмотку подготовленной к действию магнитной системы якорь перекидывается в сторону этой системы и, когда проходит нейтральное

Таблица 3-62

Технические данные реле РП-311, РП-321, РП-341

Наименование параметра		РП-311	РП-321	РП-341
$U_{ном}$ переменного тока, *в*		100, 127 и 220	—	—
$U_{ср}$, % $U_{ном}$		70	—	—
$I_{ср}$, *а*		—	2,5—последовательное соединение секций	
			5—параллельное соединенне секций	
$U_{в}$, % $U_{ном}$		3	—	
Термическая устойчивость: обмотки напряжения при 1,1 $U_{ном}$		Длительно	—	
обмотки тока, *сек*	при 10 *а*	—	Длительно	
	при 150 *а*	—	4	
$P_{потр}$ обмоток тока, *ва*: напряжения при $U_{ном}$ и втянутом якоре		6	—	
тока при 2 $I_{ср}$		—	6	
$t_{ср}$ (до замыкания контактов), *сек*: при $U_{ном}$		0,05	—	
при $2I_{ср}$		—	0,05	
Давление каждого контакта, *г*: нормальных		12—замыкающие и размыкающие	15—замыкающие и размыкающие	10—размыкающие
усиленных		—	—	35—40—замыкающие и размыкающие
Коммутационная способность нормальных контактов в цепях переменного тока: длительно допустимый ток, *а*		5		
на размыкание при U=220 *в* или токе до 2 *а*, *ва*		450		
на замыкание при U=220 *в* или токе до 15 *а*, *ва*		1 000		
Усиленные контакты способны шунтировать и дешунтировать ток КО выключателей, *а* (управляемая цепь питается от трансформатора тока и ее $z \leqslant 4{,}5$ *ом* при I=3,5 *а*)		150		
Допустимое количество срабатываний без повреждений механизма при обесточенных контактах		100 000	1 000	500
Электрическая прочность изоляции токоведущих частей относительно магнитопровода при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		2 000		
Вес реле, *кг*		0,6	1,3	

Рис. 3-69. Схема внутренних соединений реле типов РП-351 и РП-352.



положение, размыкаются контакты, включенные в цепь работающей обмотки, и замыкаются контакты в цепи неоживленной обмотки, чем подготавливается работа реле в обратном направлении.

Напряжение на обмотки реле попадает только в момент срабатывания. Схема внутренних соединиений реле РП-351 и РП-352 приведена на рис. 3-69, габаритные и установочные размеры — на рис. 3-70.

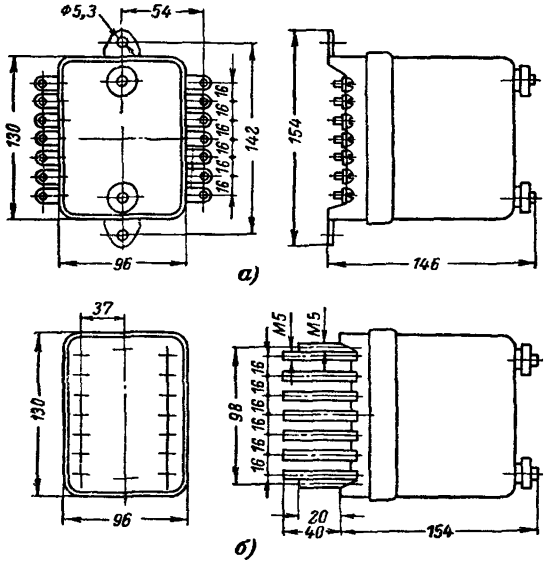


Рис. 3-70. Размеры реле РП-351 и РП-352.
а — переднее присоединиение; *б* — заднее присоединиение.

Таблица 3-63

Технические данные реле серии РП-350

Наименование параметра		РП-351	РП-352
$U_{ном}$, *в*	переменного тока	100, 127 и 220	—
	постоянного тока	—	24, 48, 110 и 220
Количество контактов, не считая включенных последовательно с обмотками		1 замыкающий, 1 размыкающий, и 2 переключающих	
$P_{потр}$ обмоток в момент срабатывания при отпущенном от системы якоре, *ва* (*вт*)		35	25
Время термической устойчивости обмоток при номинальном напряжении		Кратковременно	
$U_{ср}$, % $U_{ном}$		70	
$P_{конт.разр}$ в цепях:			
переменного тока до 2 *а* или напряжения до 220 *в*, *ва*		450	
постоянного тока до 2 *а* или напряжения до 220 *в*, *вт*		50	
Мощность контактов на замыкание в цепях:			
переменного тока 15 *а* или напряжения до 220 *в*, *ва*		1 000	
постоянного тока до 5 *а* или напряжения до 220 *в* (T=5·10^{-3} *сек*), *вт*		500	
Контакты допускают длительный ток, *а*		5	
$t_{ср}$, при $U_{ном}$, *сек*		Не более 0,06	
Необходимая для срабатывания длительность импульса в обмотке системы, подготовленной к действию, *сек*		0,06	
Число срабатываний, допускаемых механизмом реле без повреждения при обесточенных контактах		500 000	
Электрическая прочность изоляции относительно магнитной системы при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		2 000	
Вес реле, *кг*		1,3	

3-30. РЕЛЕ УКАЗАТЕЛЬНЫЕ ТИПОВ ЭС-21 (РУ-21) И ЭС-41

Реле применяются в качестве указателя действия в цепях постоянного тока схем защиты и автоматики.

На рис. 3-71 приведено устройство сигнального реле типа ЭС-21. Реле состоит из электромагнита *1*, обмотки *2*, якоря *3*, регулировочного винта *4*, валика с подвижными контактами *5*, пружины *6*, ограничителя хода якоря *7* и указательного флажка *8*. Нормально указательный флажок заведен и удерживается зубом якоря в этом положении. При срабатывании реле якорь, притягиваясь, освобождает указательный флажок, который под действием веса поворачивается вместе с валиком *5* и устанавливается против застекленного окна в кожухе реле, указывая тем самым на срабатывание. Одновременно валик *5* замыкает неподвижные контакты с общей точкой, предназначенные для подачи сигнала.

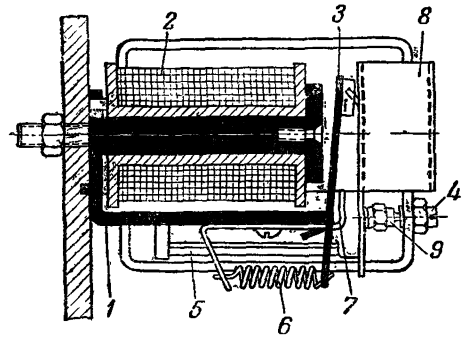


Рис. 3-71. Устройство реле ЭС-21.

Таблица 3-64

Исполнения указательных реле ЭС-21, РУ-21, ЭС-41

Тип указательных реле		$I_{ср}$, *а*	$I_{длит}$, *а*	$U_{ср}$, *в*	$U_{ном}$, *в*	Обмоточные данные		
						Число витков	Марка и диаметр провода, *мм*	*r*, *ом*
Последовательного включения	ЭС-21*(РУ-21)/0,01	0,01	0,03	—	—	18 000	ПЭЛ-0,1	2 200
	ЭС-41*					10 000	ПЭЛ-0,08	1 465
	ЭС-21 (РУ-21)/0,015	0,015	0,045	—	—	12 000	ПЭЛ-0,12	1 000
	ЭС-41					6 660	ПЭЛ-0,1	615
	ЭС-21 (РУ-21)/0,025	0,025	0,075	—	—	7 200	ПЭЛ-0,17	320
	ЭС-41					4 000	ПЭЛ-0,13	220
	ЭС-21 (РУ-21)/0,05	0,05	0,15	—	—	3 600	ПЭЛ-0,25	70
	ЭС-41					2 000	ПЭЛ-0,19	51,5
	ЭС-21 (РУ-21)/0,075	0,075	0,225	—	—	2 400	ПЭЛ-0,31	30
	ЭС-41					1 330	ПЭЛ-0,23	23
	ЭС-21 (РУ-21)/0,1	0,1	0,3	—	—	1 800	ПЭЛ-0,35	18
	ЭС-41					1 000	ПЭЛ-0,27	12,7
	ЭС-21 (РУ-21)/0,15	0,15	0,45	—	—	1 200	ПЭЛ-0,44	8
	ЭС-41					670	ПЭЛ-0,35	5
	ЭС-21 (РУ-21)/0,25	0,25	0,75	—	—	720	ПЭЛ-0,55	3
	ЭС-41					400	ПЭЛ-0,41	2,2
	ЭС-21 (РУ-21)/0,5	0,5	1,5	—	—	360	ПЭЛ-0,8	0,7
	ЭС-41					200	ПЭЛ-0,59	0,8
	ЭС-21 (РУ-21)/1	1	3	—	—	180	ПЭЛ-1,0	0,2
	ЭС-41					100	ПЭЛ-0,9	0,2
Параллельного включения	ЭС-21 (РУ-21)/220	—	—	132	220	61 000	ПЭЛ-0,05	28 000
	ЭС-21 (РУ-21)/110	—	—	66	110	32 000	ПЭЛ-0,07	7 500
	ЭС-21 (РУ-21)/48	—	—	29	48	14 000	ПЭЛ-0,11	1 440
	ЭС-21 (РУ-21)/24	—	—	14,5	24	7 000	ПЭЛ-0,15	360
	ЭС-21 (РУ-21)/12	—	—	7,2	12	3 400	ПЭЛ-0,21	87

Примечание. Каждое из четырех встроенных указательных реле при отсутствии специальных оговорок в заказе имеет исполнение на одинаковый номинальный ток.

Реле РУ-21 выпускаются вместо реле ЭС-21; принцип действия реле аналогичен принципу действия реле ЭС-21. При возбуждении катушки реле якорь притягивается к сердечнику, чем снимается упор с флажка, который выпадает в смотровых окнах скобы реле. Окна скобы выполнены в виде трех секторов, расположенных под равными углами друг к другу. В отличие от реле ЭС-21 смотровые окна расположены в центре кожуха реле.

Одновременно с поворотом флажка поворачивается изоляционный барабанчик с контактными мостиками. Путем перестановки контактных мостиков на подвижном барабанчике можно получить три комбинации контактов: два замыкающих, два размыкающих или один замыкающий и один размыкающий. Реле выпускаются с двумя замыкающими контактами. Реле имеет прозрачный кожух.

Реле ЭС-21 (РУ-21) изготавливаются для нормального и утопленного монтажа (ЭС-21У, РУ-21У). В отличие от реле ЭС-21 указательное ЭС-41 имеет четыре малогабаритных бесконтактных реле, действующих независимо друг от друга. Возврат указателей в исходное положение происходит при нажатии рукой на стержень возвратной планки, расположенный снаружи корпуса. Схема внутренних соединений реле ЭС-21 (РУ-21У) и ЭС-41 дана на рис. 3-72, а размеры — на рис. 3-73.

3-31. ФИЛЬТР-РЕЛЕ ТОКА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТИПА РТ-2

Применяются для защиты генераторов и трансформаторов от внешних и несимметричных повреждений.

Устройство состоит из фильтра тока обратной последовательности (ФТОП), на выход которого включены последовательно обмотки двух токовых реле (рис. 3-74). Фильтр тока состоит из трансформатора *ТФ* с воздушным зазором. Две первичные обмотки трансформатора включены на разность токов I_A—I_B. На ток I_C включено сопротивление *r*, на вторичную об-

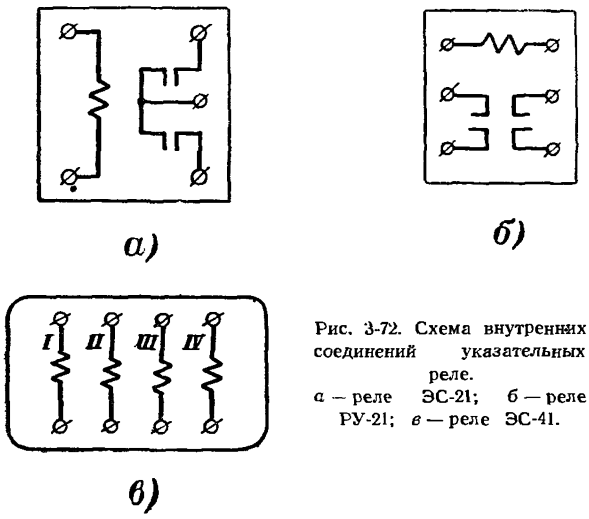
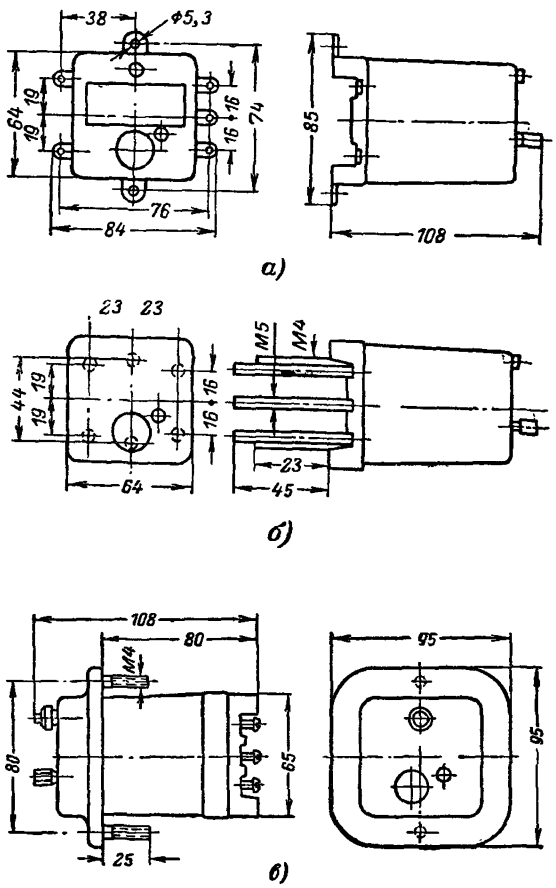


Рис. 3-72. Схема внутренних соединений указательных реле.
а — реле ЭС-21; *б* — реле РУ-21; *в* — реле ЭС-41.



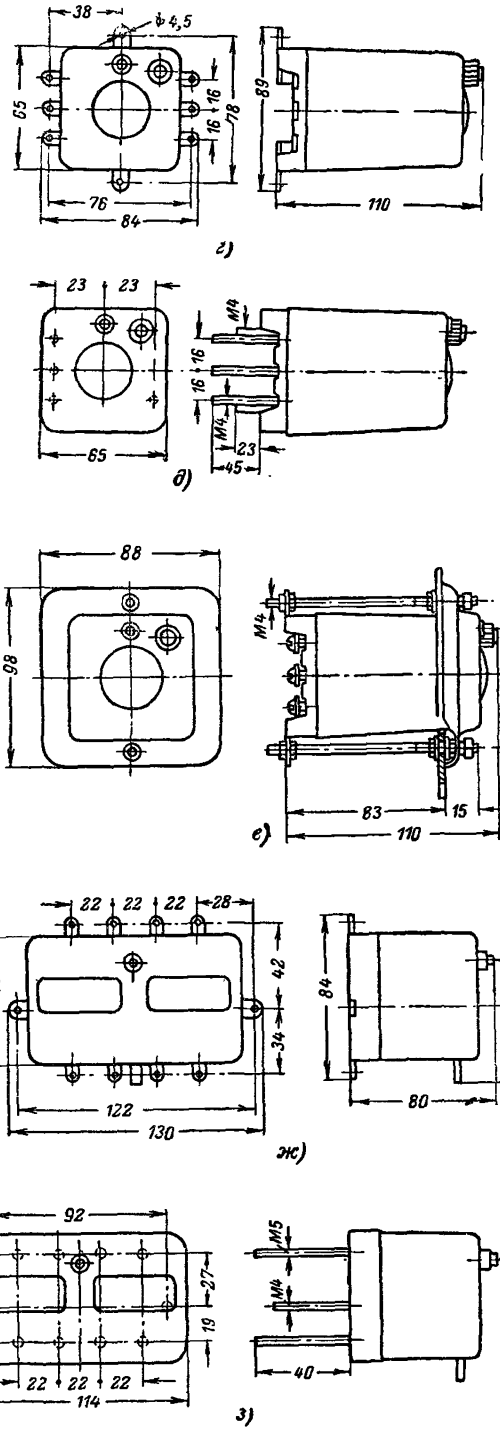


Рис. 3-73. Размеры указательных реле.
а — переднее присоединнение реле ЭС-21; *б* — заднее присоединение реле ЭС-21; *в* — реле ЭС-21У; *г* — переднее присоединение реле РУ-21; *д* — заднее присоединнение реле РУ-21; *е* — реле РУ-21У; *ж* — переднее присоединнение реле ЭС-41; *з* — задиее присоединиение реле ЭС-41.

мотку трансформатора *ТФ* и сопротивление *r* включены реле *Р1* и *Р2* (типа ЭТ-520).

Токи нулевой последовательности компенсируются трансформатором компенсации *ТК*, первичная обмотка которого включена в нулевой провод, а вторичная — на сопротивление *r*. Трансформатор *ТК* является понижаю-

Таблица 3-65

Технические данные указательных реле ЭС-21, РУ-21, ЭС-41

Наименование параметра	ЭС-21, РУ-21	ЭС-41
$U_{длит}$ параллельных сигнальных реле	1,1 $U_{ном}$	—
$P_{потр}$ обмоток:		
тока при $I_{ном}$, *вт*	0,25	0,2
напряжения при $U_{ном}$, *вт*	1,75	—
$P_{конт.раз}$ при U=220 *в* и I=2 *а*, при мгновенном размыкании цепи:		
постоянного тока с индуктивной нагрузкой, *вт*	50	—
переменного тока, *ва*	250	—
Электрическая прочность изоляции реле при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000	
Длительность импульса для срабатывания, *сек*	—	Не более 0,05
Вес реле, *кг*: выступающего	—0,4	0,5
утопленного	—0,5	

щим с коэффициентом 3, поэтому ток I_0 в фазе С компенсируется током $3I_0$ нулевого провода.

Подбором величины напряжения, снимаемого с сопротивления на вторичную обмотку трансформатора *ТФ*, фильтр настраивается на минимум небаланса при подведении к нему симметричных токов прямой последовательности.

Реле *Р1* и *Р2* имеют разную чувствительность (*Р1* грубее, чем *Р2*, так как число витков у него в 3 раза меньше).

Уставки на обоих реле могут регулироваться указателем по шкале, а на реле *Р1*—еще переключением обмоток с параллельного на последовательное соединение, при этом ввиду небольшого изменения общего сопротивления нагрузки ФТОП точность уставки на реле *Р2* практически не изменяется.

Элементы фильтра-реле тока типа РТ-2 встроены в общий кожух, размеры которого приведены на рис. 3-75. Зажимы *17*, *18*, *19* и *20* схемы рис. 3-74 могут быть использованы для внешнего переключения обмоток реле *Р1* с последовательного на параллельное только при заднем присоединении.

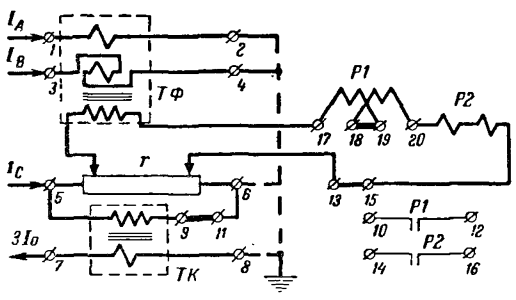


Рис. 3-74. Схема внутренних соединений фильтра — реле обратной последовательности типа РТ-2.

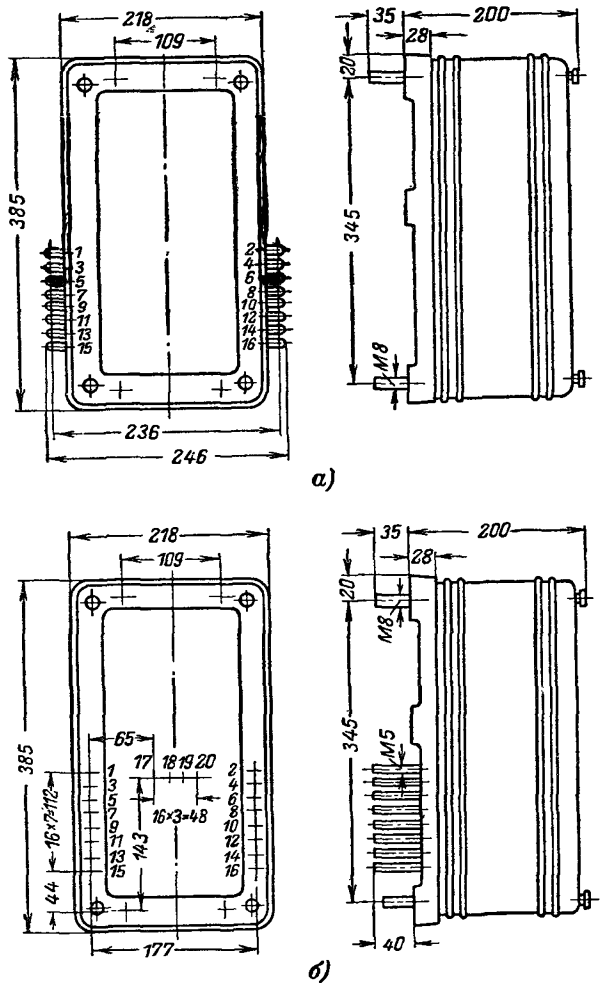


Рис. 3-75. Размеры фильтр-реле тока типа РТ-2.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

3-32. ФИЛЬТР-РЕЛЕ ТОКА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТИПА РТФ-1

Применяется для защиты различных электрических установок переменного тока при несимметричных коротких замыканиях. Фильтр-реле типа РТФ-1 состоит из активно-индуктивного трансформаторного фильтра тока обратной последовательности и исполнительного реле РТ типа ЭТ-520 с одним замыкающим контактом, включенного на выход фильтра.

Фильтр тока обратной последовательности содержит трансформаторы *Т1* и *Т2* (рис. 3-76) и регулируемые сопротивления *r1*, *r2*.

Для изменения уставки предусмотрена возможность переключения числа витков токового реле.

Фильтр и реле смонтированы в одном корпусе.

Реле типа РТФ-1 имеет такие же габаритные и установочные размеры, как и реле серии РБМ-171 (ИМБ-171).

Таблица 3-66

Технические данные устроиства РТ-2

Наименование параметра	Реле Р1	Реле Р2
$I_{ном}$, *а*	5 или 1	—
$I_{ср}$ по току обратной последовательности на входе ФТОП, *а*:		
$I_{ном}$, 5 *а*	1,5—6	0,5—1,0
$I_{ном}$, 1 *а*	0,3—1,2	0,1—0,2
Время термической устойчивости при подведении симметричного тока на вход ФТОП:		
прямой последовательности, равного 1,7 $I_{ном}$	Длительно	
обратной последовательности, равного 1,1 $I_{ном}$		
Зависимость тока на выходе от тока на входе при симметричных токах обратной последовательности на выходе ФТОП в пределах до 2 $I_{ном}$	Линейная	
$P_{потр}$ при $I_{ном}$, *ва* на фазу	Не более 15	
Электрическая прочность изоляции цепей устройства на корпус при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000	
То же между первичной и вторичной обмотками трансформаторов *ТК* и *ТФ* в течение 1 *сек*, *в*	1 000	
Количество контактов реле *Р1* и *Р2*	1 замыкающий	
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой при напряжении до 220 *в* или токе до 2 *а*, *вт*	50	
Коэффициент запаса для реле *Р2* на возврат (после срабатывания) в исходное положенне при симметричном токе прямой последовательности, равном 1,7 $I_{ном}$ на входе ФТОП	Не менее 1,2	

Таблица 3-67

Параметры элементов устройства РТ-2

Наименование и обозначенне	Обмоточные данные и величины сопротивлений	
	$I_{ном}$=5 *а*	$I_{ном}$=1 *а*
Трансформатор ТФ	$w_1=w_2=25$ ПБД-1,95 $w_2=55$ ПБД-1,56	$w_1=w_2=125$ ПЭВ2-0,93 $w_2=275$ ПЭВ2-0,74
Трансформатор ТК	$w_1=32$ ПБД-1,56 $w_2=96$ ПБД-1,35	$w_1=160$ ПЭВ2-0,93 $w_2=480$ ПЭВ2-0,64
Сопротивление *r*	$R_{общ}$=0,9 *ом* $R_{раб}$=0,6 *ом*	$R_{общ}$=25 *ом* $R_{раб}$=15 *ом*
Реле *Р1*	w=25 ПБД-1,95	w=125 ПБД-0,86
Реле *Р2*	w=70 ПБД-1,25	w=350 ПЭВ2-0,57

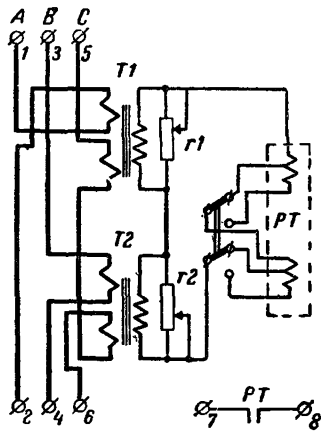


Рис. 3-76. Принципиальная схема реле типа РТФ-1.

Таблица 3-68

Технические данные реле РТФ-1

Нанменование параметра	$I_{ном}$=5 *а*	$I_{ном}$=1 *а*
$I_{ном}$ прямой последовательности, *а*	5	1
$I_{ср}$ по току обратной последовательности, *а*	1,5—6	0,3—1,2
$k_в$ реле в схеме	Не менее 0,75	
$P_{потр}$ при симметричном токе 5 *а*, *ва* на фазу	Не более 4,5	
$I_{сраб}$, *а*	10	—
$t_{ср}$ при 2 $I_{ср}$, *сек*	Не более 0,04	
Электрическая прочность изоляции при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000	
$P_{конт.разр}$ исполнительного органа реле в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой (T=5·10^{-3} *сек*) при напряжении 220 *в* и токе до 2 *а*, *вт*	50	
Вес реле, *кг*	5,8	
Обмоточные данные трансформатора *Т1*	$w_1=w'=13$ ПБД-1,56 $w_2=250$ ПЭВ2-0,64	$w_1=w'=65$ ПЭВ2-0,8 $w_2=250$ ПЭВ2-0,64
Обмоточные данные трансформатора *Т2*	$w_1=w'=13$ ПБД-1,56 $w_2=380$ ПЭВ2-0,64	$w_1=w'=65$ ПЭВ2-0,8 $w_2=380$ ПЭВ2-0,64
Сопротивление *r*1, *ом*	0—22	
Сопротивление *r*2, *ом*	0—72	
Обмоточные данные каждой катушки реле РП (ЭТ-520)	w=500 ПЭВ2-0,35, отпайка от 170 витков	

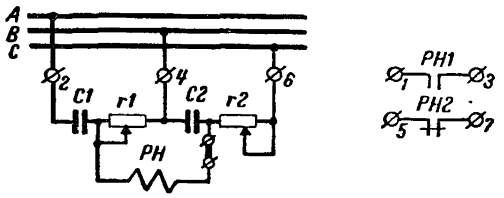


Рис. 3-77. Принципиальная схема реле типа РНФ-1.

3-33. РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ТИПА РНФ-1

Реле применяется для защиты различных электрических установок переменного тока при несимметричных коротких замыканиях.

Реле типа РНФ-1 состоит из активно-емкостного фильтра напряжения обратной последовательности, на выход которого включено реле напряжения серии ЭН-500. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Фильтр напряжения обратной последовательности состоит из емкостей *C1* и *C2* и сопротивлений *r1* и *r2*.

Схема реле дана на рис. 3-77.

Фильтр и реле смонтированы в одном корпусе.

Габаритные и установочные размеры реле такие же, как и у реле типа РБМ-171 (ИМБ-171).

Таблица 3-69

Технические данные реле РНФ-1

Наименование параметров	Величина
$U_{ном}$, *в*	100
$U_{ср}$ линейных обратной последовательности	6—12
$P_{потр}$ при $U_{ном}$, *ва* на фазу	15
Термическая устойчивость: при 1,1 $U_{ном}$ или при обрыве одной фазы	Длительно
Электрическая прочность изоляции при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой при напряжении 220 *в* и токе до 2 *а*, *вт*	50
Вес реле, *кг*	4,1

3-34. РЕЛЕ МАКСИМАЛЬНОГО ТОКА С ТОРМОЖЕНИЕМ ТИПА МЗТ-1

Реле применяется для защиты регулировочных автотрансформаторов и соединительной проводки между автотрансформатором и последовательным трансформатором.

Реле типа МЗТ-1 состоит из токового реле типа ЭТ-520, включенного через быстронасыщающийся трансформатор (БНТ). БНТ имеет трехстержневой магнитопровод, на крайних стержнях которого находятся вторичная и тормозная (подмагничивающая) обмотки, а на среднем — рабочая обмотка (рис. 3-78).

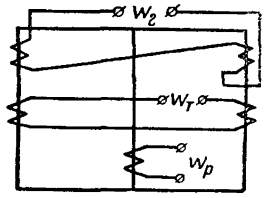


Рис. 3-78. Схема расположения обмоток БНТ реле типа МЗТ-1.

$W_р$ — рабочая обмотка;
W_2 — вторичная обмотка;
$W_т$ — тормозная обмотка.

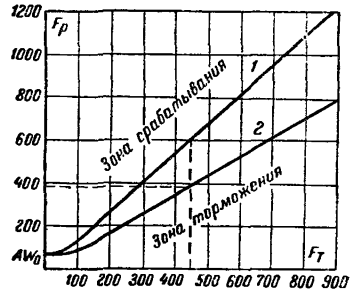


Рис. 3-79. Тормозные характеристики реле типа МЗТ-1.
Кривые *1* и *2* получены для одинаковых значений тормозного и рабочего токов, но для разных углов между ними (в пределах 0—180°).

Магнитный поток от тормозной обмотки, замыкаясь по крайним стержням, не попадает в средний стержень и, следовательно, в рабочую обмотку, а только подмагничивает магнитопровод. Это приводит к ухудшению условий трансформации первичного тока в цепь реле, т. е. к загрублению реле при возрастании тормозного тока. Тормозная характеристика реле приведена на рис. 3-79.

Рабочая обмотка реле МЗТ-1 включается со стороны первичных выводов автотрансформатора, а тормозная — в цепь обмотки основного силового трансформатора. Схема внутренних соединений реле и схема его включения для одной фазы приведены на рис. 3-80.

При коротком замыкании в автотрансформаторе величина тормозного тока, протекающего через силовой трансформатор, относительно невелика, поэтому рабочая обмотка индуктирует во вторичную обмотку ток, достаточный для срабатывания реле.

При внешнем коротком замыкании (вне автотрансформатора) тормозной ток значительно возрастает, во вторичную обмотку наводится ток, недостаточный для срабатывания реле, и реле не действует. Реле имеет один замыкающий контакт.

Регулировка тока срабатывания и коэффициента торможения производится ступенчато ввертыванием винтов в соответствующие гнезда на панельке БНТ (рис. 3-80). Цифры у гнезд указывают число витков, включаемых при использовании данного гнезда. Маркировка гнезд тормозной обмотки отнесена к одной тормозной катушке, к этому же числу витков отнесена и указанная в табл. 3-70 величина $F_т$.

Реле и промежуточный трансформатор встроены в общий кожух, размеры которого такие же, как и у реле типа РБМ-171 (ИМБ-171).

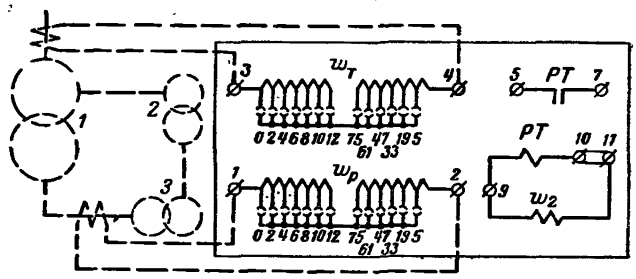


Рис. 3-80. Схема включения реле МЗТ-1.
1 — силовой трансформатор; *2* — последовательный трансформатор; *3* — регулировочный автотрансформатор; $W_р$ — рабочая, $W_т$ — тормозная, W_2 — вторичная обмотки.

Таблица 3-70

Технические данные реле МЗТ-1

Наименование параметра	Величина
$F_{ср}$ при отсутствии торможения, *ав*	60±4
$I_{ср}$ (при $F_{ср}$, равной 60), *а*	1,33—15
$k_т$ ($F_{ср}/F_т$ при $F_т$ равном 450):	
$I_{ср}$=1,33 *а*	0,1—1,7
$I_{ср}$=15 *а*	1,1 и выше
$k_н$ по вторичному току в реле при первичном токе, равном 5 $I_{ср}$	Не менее 1,35
Вес реле, *кг*	4
$t_{ср}$ при токе 3 $I_{ср}$, *сек*	≤0,035
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока, с индуктивной нагрузкой (T=5·10^{-3} *сек*) при напряжении до 220 *в* и токе до 2 *а*, *вт*	50
$P_{потр}$ при одновременном прохождении тока в полностью включенных обмотках, *вт*:	
рабочей 5 *а*	25
тормозной 5 *а*	45
рабочей 5 *а*	25
тормозной 1 *а*	7,5
$I_{длит}$ обмоток БНТ при одновременном включении рабочей и тормозной обмоток, *а*:	
рабочая 45 витков (100%)	10
тормозная 87 витков (100%)	5
рабочая 45 витков	10
тормозная 45 витков	7
рабочая 45 витков	10
тормозная 7 витков	10
рабочая 10 витков	12
тормозная 45 витков	7

Таблица 3-71

Обмоточные данные реле МЗТ-1

Наименование обмотки	Число витков	Марка и диаметр провода, *мм*	Примечание
Рабочая БНТ	$w_р$=45	ПБД-1,95	
Тормозная БНТ	$2w_т$=2×87	—	Сечение железа крайнего стержня БНТ 1,25 *см*^{2}
	$w_т^I$=12	ПБД-1,68	
	$w_т^{II}$=5	ПБД-1,68	
	$w_т^{III}$=28	ПБД-1,35	
	$w_т^{IV}$=42	ПБД-1,16	
Вторичная БНТ	$2w_2$=2×24	ПБД-1,0	
Исполнительный орган—реле *РТ*	2×500	ПЭВ2-0,35	

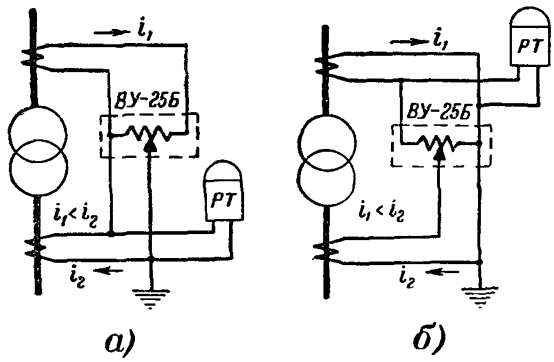


Рис. 3-81. Схема включения автотрансформатора ВУ-25Б.
а — повышающего; *б* — понижающего.

3-35. АВТОТРАНСФОРМАТОР ТОКА ТИПА ВУ-25Б

Применяется в схемах дифференциальных защит для выравнивания токов в плечах.

Автотрансформатор ВУ-25Б исполняется однофазным с магнитопроводом броневого типа. Обмотка имеет отводы, присоединенные к винтам на изоляционной плите. Автотрансформатор ВУ-25Б может применяться как повышающий или как понижающий (рис. 3-81) с пределами изменения номинального первичного тока 8,13—3,07 *а* при номинальном вторичном токе 5 *а*, что соответствует коэффициенту трансформации 1,625—0,614.

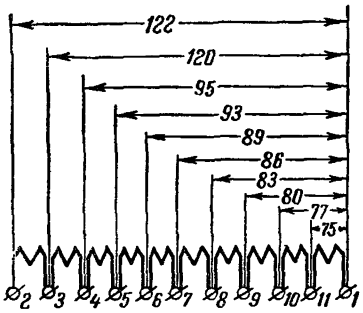


Рис. 3-82. Схема внутренних соединений автотрансформатора ВУ-25Б.

Схема внутренних соединений автотрансформатора ВУ-25Б приведена на рис. 3-82, а общий вид и размеры — на рис. 3-83.

Автотрансформатор не имеет цоколя и кожуха и монтируется непосредственно на панели при помощи четырех угольников, прикрепленных к магнитопроводу.

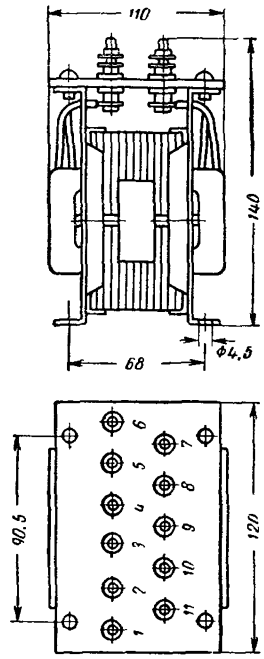


Рис. 3-83. Размеры автотрансформатора ВУ-25Б.

Таблица 3-72

Присоединение отводов автотрансформатора ВУ-25Б для получения вторичного тока 5 *а*

Первичный ток, *а*	$n_т$	Зажимы трансформатора тока к отводам (первичный ток)	Зажимы реле к отводам (вторичный ток 5 *а*)	Первичный ток, *а*	$n_т$	Зажимы трансформатора тока к отводам (первичный ток)	Зажимы реле к отводам (вторичный ток 5 *а*)	Первичный ток, *а*	$n_т$	Зажимы трансформатора тока к отводам (первичный ток)	Зажимы реле к отводам (вторичный ток 5 *а*)
8,13	1,625	*1-11*	*1-2*	5,82	1,164	*1-9*	*1-5*	4,15	0,83	*1-5*	*1-10*
8	1,60	*1-11*	*1-3*	5,73	1,145	*1-8*	*1-4*	4,05	0,81	*1-4*	*1-10*
7,93	1,586	*1-10*	*1-2*	5,61	1,122	*1-8*	*1-5*	4,02	0,804	*1-5*	*1-11*
7,8	1,56	*1-10*	*1-3*	5,5	1,10	*1-7*	*1-4*	3,95	0,79	*1-4*	*1-11*
7,63	1,525	*1-9*	*1-2*	5,37	1,074	*1-7*	*1-5*	3,88	0,776	*1-3*	*1-5*
7,5	1,50	*1-9*	*1-3*	5,32	1,063	*1-6*	*1-4*	3,8	0,76	*1-2*	*1-5*
7,35	1,47	*1-8*	*1-2*	5,2	1,04	*1-6*	*1-5*	3,72	0,745	*1-3*	*1-6*
7,23	1,445	*1-8*	*1-3*	5,1	1,02	*1-5*	*1-4*	3,65	0,73	*1-2*	*1-6*
7,05	1,41	*1-7*	*1-2*	5,0	1,00	*1-5*	*1-5*	3,6	0,72	*1-3*	*1-7*
6,95	1,39	*1-7*	*1-3*	4,9	0,98	*1-4*	*1-5*	3,55	0,71	*1-2*	*1-7*
6,82	1,364	*1-6*	*1-2*	4,8	0,96	*1-5*	*1-6*	3,46	0,692	*1-3*	*1-8*
6,7	1,34	*1-6*	*1-3*	4,7	0,94	*1-4*	*1-6*	3,4	0,68	*1-2*	*1-8*
6,56	1,312	*1-5*	*1-2*	4,65	0,93	*1-5*	*1-7*	3,33	0,667	*1-3*	*1-9*
6,46	1,292	*1-5*	*1-3*	4,55	0,91	*1-4*	*1-7*	3,28	0,656	*1-2*	*1-9*
6,34	1,268	*1-11*	*1-4*	4,46	0,892	*1-5*	*1-8*	3,21	0,642	*1-3*	*1-10*
6,2	1,24	*1-11*	*1-5*	4,37	0,875	*1-4*	*1-8*	3,15	0,63	*1-2*	*1-10*
6,18	1,235	*1-10*	*1-4*	4,3	0,86	*1-5*	*1-9*	3,12	0,624	*1-3*	*1-11*
6,05	1,21	*1-10*	*1-5*	4,21	0,842	*1-4*	*1-9*	3,07	0,614	*1-2*	*1-11*
5,94	1,185	*1-9*	*1-4*	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 3-73

Технические данные автотрансформатора ВУ-25Б

Наименование параметра	Величина
Погрешность $n_т$ при нагрузке не выше 10 *ва*, %	Не более ±2
Термическая устойчивость обмотки, *сек* при токе:	
5,5 *а*	Длительно
200 *а*	1
$P_{потр}$ при нагрузке 10 *ва* не более, *ва*	14
Электрическая прочность изоляции токоведущих частей при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000
Вес, *кг*	4,2

3-36. ТРАНСФОРМАТОР ТОКА ТИПА ТКБ-1

Применяется для питания отключающих катушек выключателей с приводами ПРА, ПРБА, ПРАМ. Включается во вторичные цепи трансформаторов тока (рис. 3-84). Трансформатор ТКБ-1 предназначен для питания отключающей катушки мощностью 40 *ва* с номинальным током отключения 3,5 *а*.

Катушечный быстронасыщающийся трансформатор тока типа ТКБ-1 в нормальном режиме работает с разомкнутой вторичной обмоткой (рис. 3-84). Сердечник собран из Г-образных пластин; концы обмоток выведены на панель. Трансформатор не имеет цоколя и кожуха и крепится при помощи угольников непосредственно на конструкциях или на стене.

Схема внутренних соединений трансформатора ТКБ-1 дана на рис. 3-85. На рис. 3-86 приведены вели-

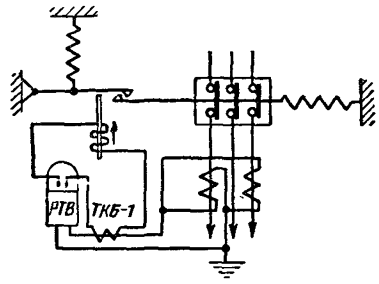


Рис. 3-84. Схема включения трансформатора тока типа ТКБ-1.

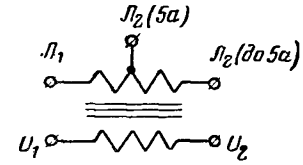


Рис. 3-85. Схема внутренних соединений трансформатора тока ТКБ-1.

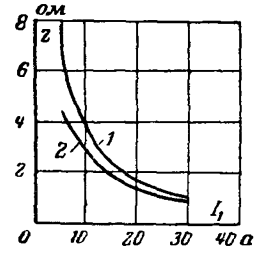


Рис. 3-86. Кривая $z=f(I_1)$ при разомкнутой вторичной обмотке.

1 — первичный ток подан на зажимы $Л_1$ и $Л_2$ (до 5 *а*); *2* — первичный ток подан на зажимы $Л_1$ и $Л_2$ (5 *а*).

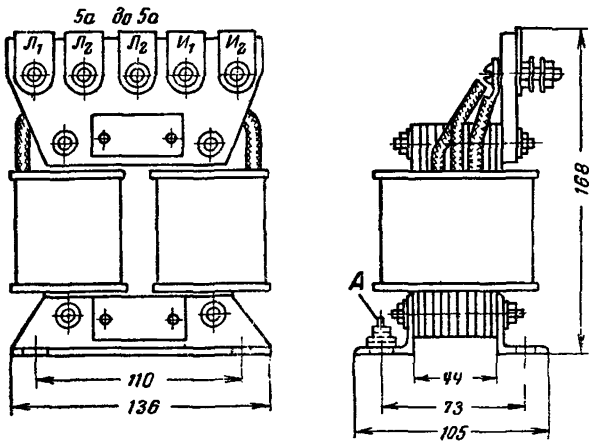


Рис. 3-87. Размеры трансформатора тока типа ТКБ-1.
А — болт заземления (М8).

чины полного сопротивления трансформатора при разомкнутой вторичной обмотке в зависимости от величины тока, проходящего по его первичной обмотке. Общий вид и размеры даны на рис. 3-87.

Таблица 3-4

Технические данные трансформатора ТКБ-1

Наименование параметров	Величина
$I_{ном}$: первичный, *а* $Л_1$ и $Л_2$ (до 5 *а*)	4
$Л_1$ и $Л_2$ (5 *а*)	5
вторичный, *а*	3,5
$I_{длит}$ в первичной обмотке, *а*	9,5
Максимально возможный ток во вторичной обмотке, *а*	8
U на разомкнутой вторичной обмотке при $I_{длит}$ первичном токе, *в* (амплитудных)	200—300
Электрическая прочность обмоток трансформатора относительно магнитопровода при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000
Вес, *кг*	4,5

3-37. РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТИПОВ КРС-111 И КРС-112

Реле применяются в качестве пусковых и измерительных органов в схемах дистанционных защит ЛЭП в сетях с большим и малым током замыкания на землю.

Реле сопротивления типов КРС-111 и КРС-112 реагируют на снижение полного сопротивления на зажимах реле ниже его уставки. Угловые характеристики реле КРС в комплексной плоскости представляют собой окружности.

У реле КРС-112 центр находится в начале координат (рис. 3-88,*а*), у реле КРС-111 предусмотрена возможность изменения положения центра окружности вдоль оси *x* (рис. 3-88,*б*).

Реле КРС-111 и КРС-112 имеют одинаковый принцип действия и аналогичное устройство. Реагирующим органом реле является четырехполюсная индукционная система с алюминиевым ротором (барабанчиком). Реле КРС-111 имеет один замыкающий контакт, а реле КРС-112—один замыкающий и один размыкающий контакты.

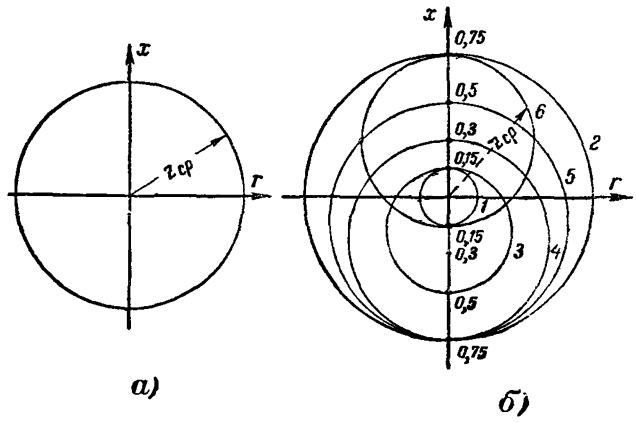


Рис. 3-88. Угловая характеристика реле.
а — КРС-112; *б* — КРС-111, входящего в схему защиты ПЗ-152.

Реле КРС-112 (рис. 3-89). На магнитопроводе реле расположены четыре катушки поляризующей обмотки w_2 и на полюсах — две катушки рабочей обмотки w_1.

В цепь рабочей обмотки w_1 входит вторичная обмотка трансреактора *Tx1*, сопротивления *r1* и *r2* и конденсатор *C1*, в цепь поляризующей обмотки w_2 входят обмотка трансреактора *Tx2* и конденсатор *C2*. Обе обмотки включены параллельно на напряжение $U_р$ через автотрансформатор *TH*. Электродвижущая сила в обмотках *Tx1* и *Tx2* пропорциональна току $I_р$:

$$E = kI_р.$$

Обмотки *Tx1* и *Tx2* включаются так, чтобы в контурах действовали напряжения:

$$U_1 = U_р + k_1 I_р; \quad U_2 = U_р - k_2 I_р.$$

Результирующий момент на реле равен:

$$M = k_3 I_р^2 - k_4 U_р^2.$$

Реле срабатывает при $M > 0$, т. е. при $k_3 I_р^2 > k_4 U_р^2$.

Векторная диаграмма реле приведена на рис. 3-90.

Изменение уставок реле осуществляется на автотрансформаторе напряжения *Tн* (рис. 3-91), который

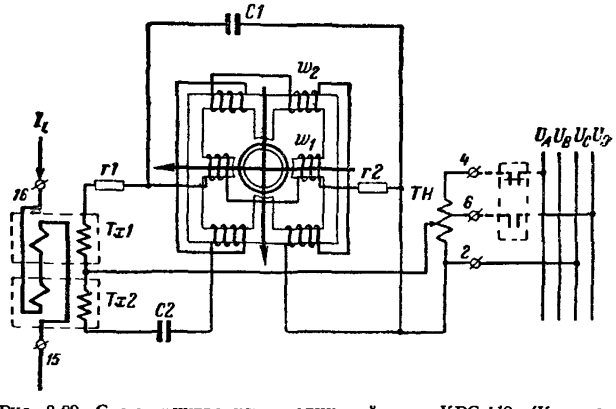


Рис. 3-89. Схема внутренних соединений реле КРС-112. (Контакты реле на схеме не показаны. Замыкающий контакт выведен на зажимы *1—3*, размыкающий на зажимы *5—7*).

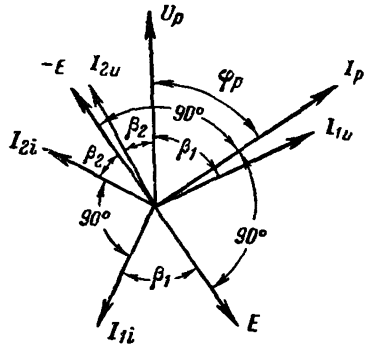


Рис. 3-90. Векторная диаграмма реле КРС-111 и КРС-112. I_{1i}, I_{2i} — токи в обмотках от трансреакторов; I_{1u}, I_{2u} — токи от трансформаторов напряжения.

имеет основную обмотку w_1 и две дополнительные w_2 и w_3. Обмотка w_2 служит для точного регулирования уставки, а обмотке w_3 обеспечивает более точное изменение числа витков первичной обмотки при переключении реле с линейного напряжения на фазное.

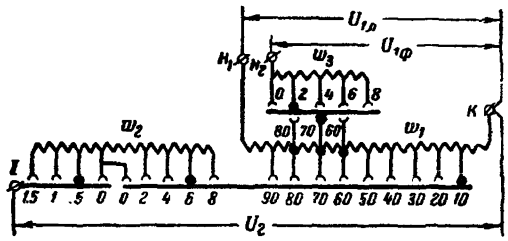


Рис. 3-91. Схема соединений автотрансформатора *TH* реле КРС-112.

Реле КРС-111, схема внутренних соединений которого приведена на фис. 3-92, предназначено для включения непосредственно в цепи трансформаторов тока и напряжения. В защите ПЗ-152(153) реле типа КРС-111 включается через дополнительные устройства. Поэтому реле КРС-111, выпускаемое отдельно, и реле, входящее в защиту ПЗ-152(153), имеют некоторые отличия.

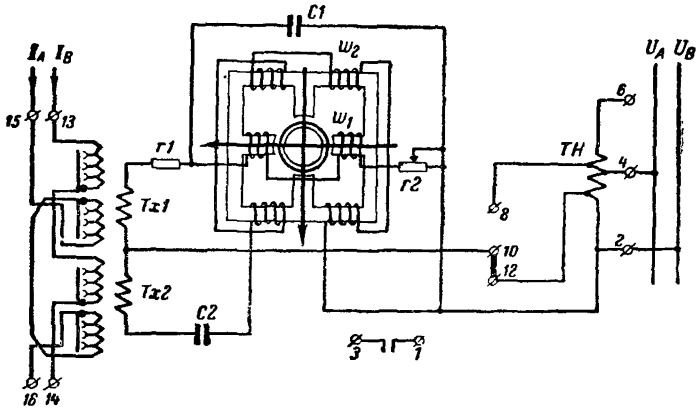


Рис. 3-92. Схема внутренних соединений реле КРС-111.

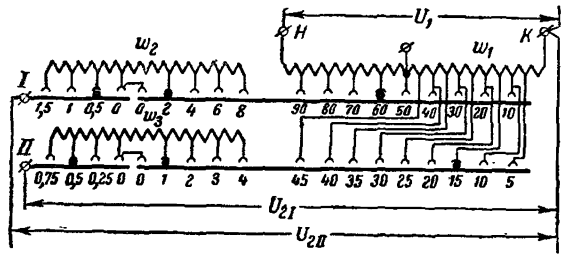


Рис. 3-93. Схема соединений автотрансформатора *TH* реле КРС-111. Автотрансформатор реле КРС-111, входящего в схему защиты ПЗ-152/153, среднего вывода с первичной стороны не имеет.

Реле КРС-111 в отличие от реле КРС-112 предусматривает переключение с одной зоны на другую. Поэтому у трансформатора напряжения имеется возможность регулирования уставок в I и II зонах (рис. 3-93).

При одинаковых отпайках на *Tx1* и *Tx2* центр характеристики находится примерно в начале коорди-

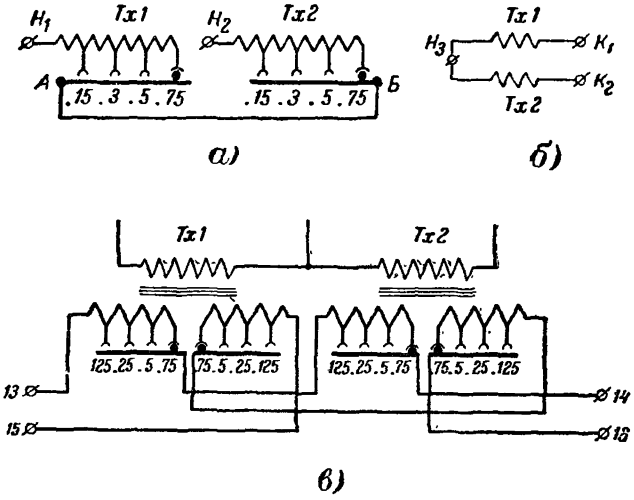


Рис. 3-94. Схема соединений трансреакторов *Tx1* и *Tx2* реле КРС-111.

а — первичных обмоток; *б* — вторичных обмоток в реле КРС-111, входящего в схему защиты ПЗ-152/153; *в* — для реле КРС-111 на номинальный ток 5 *а*, выпускаемых заводом отдельно не в схеме защиты ПЗ-152.

нат (рис. 3-88,*а*). При разных отпайках на *Tx1* и *Tx2*, кроме изменения уставок, происходит смещение характеристики вдоль оси *x* (рис. 88,*б*).

Кривые рис. 3-88,*б* даны для реле КРС-111, входящего в схему защиты ПЗ-152(153), для следующих отпаек на трансреакторах:

Кривые	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Tx1	15	75	15	3	5	75
Tx2	15	75	5	75	75	15

Трансреакторы реле имеют в первичных обмотках отпайки (рис. 3-94), обеспечивающие следующие величины минимальных уставок (при максимальных витках на *TH*).

Реле КРС предназначено			Уставки, *ом* на фазу			
Для использования в схеме защиты ПЗ-152 (153)			0,15	0,3	0,5	0,75
Для использования отдельно (не в схеме защиты ПЗ-152, 153)	Кратковременный режим	$I_{ном}$=5 *а*	0,125	0,25	0,5	0,75
		$I_{ном}$=1 *а*	0,625	1,25	2,5	3,75
	Длительный режим	$I_{ном}$=5 *а*	0,25	0,5	1,0	1,5
		$I_{ном}$=1 *а*	1,25	2,5	5,0	7,5

Все элементы реле КРС-111 или КРС-112 конструктивно расположены в одном кожухе, размеры которого такие же, как и у реле типа КРС-131 (132).

В табл. 3-75 приведены технические данные реле КРС-111, выпускаемого отдельно, не в схеме дистанционной защиты ПЗ-152(153), и реле КРС-112, а в табл. 3-76 и 3-77—технические данные элементов реле КРС-111 и КРС-112.

Пример предварительного подбора заданных уставок на реле КРС-111 и КРС-112

Задано установнть на реле:

КРС-111 $\begin{cases} z_1 = 1{,}2$ *ом* на фазу вторичных;
$z_2 = 4{,}8$ *ом* на фазу вторичных;

КРС-112 $z_в = 12$ *ом* на фазу вторичных.

Угол полного сопротивления линии 60°.

Номинальный вторичный ток 5 *а*.

Реле КРС-111 работает в кратковременном режиме; защита должна иметь характернстику с центром в начале координат.

Реле КРС-111. Выбирается ближайшая меньшая уставка на *Tx1* и *Tx2* по сравнению с заданными величинами z_1 и z_2.

Для кратковременного режима (при номинальном токе 5 *а*) в данном случае может быть принята величина $z_0 = 0{,}75$ (.75 на рис. 3-94). Тогда для первой зоны $N_1 = \frac{z_1}{z_0} = \frac{1{,}2}{0{,}75} = 1{,}6$.

Число цифр, набираемых для первой зоны на *ТН*, равно:

$$n_1 = \frac{100}{N_1} = \frac{100}{1{,}6} = 62{,}5.$$

Следовательно, винты в цепи первой зоны на *ТН* (рис. 3-93) должны быть ввернуты в гнезда:

$$w_1 = 60, \quad w_2 = 2 \text{ и } 0{,}5.$$

Для второй зоны:

$$N_2 = \frac{z_2}{z_0} = \frac{4{,}8}{0{,}75} = 6{,}04.$$

Число цифр, набираемых для второй зоны на *ТН*, равно:

$$n_2 = \frac{100}{N_2} = \frac{100}{6{,}04} = 16{,}5.$$

Винты в цепи второй зоны на *ТН* должны быть ввернуты в гнезда w_1=15, w_2=1 и 0,5.

Напряжение на автотрансформатор *ТН* должно подводиться к зажимам *2—4* (рис. 3-92).

В данном примере рассмотрено применение реле КРС-111 отдельно, а не в схеме защиты ПЗ-152 (153) в кратковременном режиме.

В случае использования реле КРС-111 отдельно, но в длительном режиме, необходимо при выборе уставок подставлять соответствующее значение z_0, в рассмотренном случае — не 0,75, а 1,0 (как ближайшее меньшее относительно z_1=1,2 *ом*), и автотрансформатор *ТН* включить на отпайки *2-6*.

При использовании реле КРС-111 в схеме дистанционной защиты ПЗ-152 (ПЗ-153) необходимо подставлять значение z_0 с учетом отпаек на *Tx1* и *Tx2* этого исполнения реле (см. табл. 3-75 или рис. 3-94,*а*).

Для получения смещенных характеристик по оси *x* необходимо построить графически величину заданных уставок в координатах *rx* с учетом угла полного сопротивления линии и подобрать необходимые отпайки на *Tx1*, *Tx2* и *ТН*, руководствуясь для примера характеристиками рис. 3-88,*б*.

Реле КРС-112. Реле не имеет регулировки в цепях тока, и величина z_0 для него равна 2 *ом* на фазу.

При этом

$$N_з = \frac{z_в}{z_0} = \frac{12}{2} = 6$$

и

$$n_з = \frac{100}{N_з} = \frac{100}{6} = 16{,}7 \approx 16{,}5.$$

На автотрансформаторе *ТН* (рис. 3-91) устанавливаются винты в положения: w_1—10, w_2—6 и 5.

Установка винтов на обмотке w_3 выполняется при наладке, если реле в схеме защиты переключается с линейного напряжения на фазное.

3-38. НАПРАВЛЕННЫЕ РЕЛЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТИПОВ КРС-121, КРС-131 И КРС-132

Реле применяются в различных схемах дистанционных защит линий с большим током замыкания на землю. В частности, реле КРС-132 применяются в качестве пусковых органов, а реле КРС-121 и КРС-131 — в качестве измерительных органов 1-й и 2-й зон в схеме дистанционных защит типов ПЗ-157 и ПЗ-158.

Направленные реле сопротивления типов КРС-121, КРС-131 и КРС-132 реагируют на снижение полного сопротивления на зажимах реле ниже его уставки. Угловые характеристики реле представляют собой окружности, проходящие через начало координат (рис. 3-95).

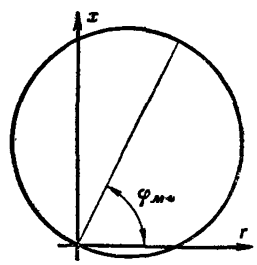


Рис. 3-95. Угловая характеристика направленных реле сопротивления типов КРС-121, КРС-131 и КРС-132.

Реагирующий орган реле такой же, как у реле КРС-111 (112).

Реле КРС-132 (рис. 3-96) представляет собой направленное реле сопротивления с электрическим суммированием момента.

На ярме магнитопровода расположены четыре катушки поляризующей обмотки реле $w_п$.

Последовательно с обмоткой включены конденсатор *С2* и дроссель *Д*. Цепь поляризующей обмотки включается на линейное напряжение (U_{AC} на рис. 3-96). Емкость конденсатора *С2* и индуктивность дросселя *Д* и обмотки $w_п$ настроены в резонанс напряжения при частоте 50 *гц*, чем обеспечивается сравнительно медленное затухание тока в поляризующей обмотке при исчезновении напряжения на ее зажимах.

Поляризующая обмотка имеет подпитку от напряжения третьей фазы (*В*) через высокоомное сопротивление *r4* (40 *ком*), благодаря чему к обмотке $w_п$ под-

Таблица 3-75

Технические данные реле КРС-111, КРС-112

Наименование параметра			КРС-111	КРС-112
$I_{ном}$, *а*			5 или 1	
$U_{ном}$, *в*			100	
$P_{потр}$ цепей: тока при $I_{ном}$, *ва* на фазу			4,5	4
переменного напряжения, *ва* на фазу			80 (кратковременный режим)	35
			20 (длительный режим)	
Пределы $z_{ср}$, *ом* на фазу при: $I_{ном}$=5 *а*			Кратковременный режим 0,125—7,5 / Длительный режим 0,25—15	2—20
$I_{ном}$=1 *а*			Кратковременный режим 0,625—37,5 / Длительный режим 1,25—75	10—100
Точность работы не выходит за пределы 1,0 $z_{ср}$—0,9 $z_{ср}$ при токах, *а*	$I_{ном}$=5 *а*	$z_у$=0,125	8—200	2—50
		$z_у$=0,25	4—200	
		$z_у$=0,5	2—100	
		$z_у$=0,75	1,35—65	
	$I_{ном}$=1 *а*	$z_у$=0,625	1,6—40	0,4—10
		$z_у$=1,25	0,8—40	
		$z_у$=2,5	0,4—20	
		$z_у$=3,75	0,27—13	
U точной работы, *в* $U_{точн}$= =$I_{точн} \cdot z_{уст.\ точн}$	Кратковременный режим		1	—
	Длительный режим		2	—
$z_{ср.\ мин}$ для реле КРС-111, используемого в дистанционной защите ПЗ-152 (153), при регулировке в цепях тока, *ом* на фазу			0,15; 0,3 0,5; 0,75	—
То же для реле КРС-111, выпускаемых отдельно, не в схеме защиты ПЗ-152(153), *ом* на фазу, для режима: кратковременного $I_{ном}$=5 *а*			0,125; 0,25; 0,5; 0,75	—
$I_{ном}$=1 *а*			0,625; 1,25; 2,5; 3,75	
длительного $I_{ном}$=5 *а*			0,25; 0,5; 1,0; 1,5	—
$I_{ном}$=1 *а*			1,25; 2,5; 5,0; 7,5	
$t_{ср}$ реле при токах, равных $2I_{точн}$, *сек*: при $z \leqslant 0{,}7\ z_{ср}$ время замыкания замыкающего контакта			0,08	0,08
при $z \leqslant 0{,}7\ z_{ср}$ время размыкания размыкающего контакта			0,08	0,04
Термическая устойчивость при 1,1 $I_{ном}$ и 1,1 $U_{ном}$ переменного тока и напряжения			Длительно	
Электрическая прочность изоляции всех цепей реле относительно корпуса при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*			2 000	
$P_{конт.\ разр}$ в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой (T=5·10^{-3} *сек*) при напряжении до 220 *в* и токе до 1,5 *а*, *вт*			30	
Вес реле, *кг*			~12	11

Таблица 3-76

Технические данные элементов реле КРС-111

Наименование элементов реле КРС-111	Технические данные элементов реле КРС-111, входящих в схему защиты ПЗ-152 (ПЗ-153)	Технические данные элементов реле КРС-111	
Трансреакторы *Тх1* и *Тх2*	w_1=300, отводы от 60-го, 120-го, 200-го витков w_2=400 Провод ПЭЛ-0,59 Сечение железа 5,6 *см*², зазор в магнитопроводе 2,2 *мм*	Исполнение для $I_{ном}$=1 *а*	Исполнение для $I_{ном}$=5 *а*
		Первичные w_1=w_2=30, отводы от 5-го, 10-го, 20-го витков, ПЭВ2-0,93	Первичные w_1=w_2=6, отводы от 1-го, 2-го, 4-го витков ПБД-1,56
		Вторичная w_3=650 ПЭВ2-0,44 Зазор в магнитопроводе 2,6 *мм*	
Автотрансформатор *ТН*	w_1=800, отводы от 80-го, 160-го, 240-го, 320-го, 400-го, 440-го, 480-го, 520-го, 560-го, 600-го, 640-го, 680-го, 720-го и 760-го витков w_2=76, отводы от 4-го, 8-го, 12-го, 28-го, 44-го и 60-го витков w_3=38, отводы от 2-го, 4-го, 6-го, 14-го, 22-го и 30-го витков Провод ПЭВ2-0,64 Сечение железа 8 *см*²		
Конденсаторы	C=10±0,6 *мкф*, $U_{раб}$=400 *в* тип МБГП, ГОСТ 7112-54	C_1=40 *мкф*=4×10 *мкф*, $U_{раб}$=200 *в* C_2=6 *мкф*=3×2 *мкф*, $U_{раб}$=600 *в*	ГОСТ 7112-54
Сопротивления	$r_{наиб}$=50 *ом*, константан ∅ 0,35 *мм*, ГОСТ 5307-50	r_1=r_2=35 *ом* ПЭ ГОСТ 6513-53	
Реле индукционное *РС*: обмотка полюсов	w_1=520×2 ПЭВ2-0,41	w_1=560×2 ПЭВ2-0,38	
обмотка ярма	w_2=800×4 ПЭВ2-0,38	w_2=1 070×4 ПЭВ2-0,27	

Таблица 3-7

Технические данные элементов реле КРС-112

Наименование элемента реле КРС-112	Технические данные элементов	
Трансреакторы *Tx1* и *Tx2*	Исполнение для $I_{ном}$=5 *а* Внутренняя обмотка w_1=14 ПБД-1,56	Исполнение для $I_{ном}$=1 *а* Внутренняя обмотка w_1=70 ПЭВ2-0,8
	Наружная обмотка w_2=1 420, ПЭЛ-0,35, зазор в магнитопроводе 2,6 *мм*	
Автотрансформатор напряжения *TH*	w_1=800, отводы от 80-го, 160-го, 240-го, 320-го, 400-го, 480-го, 560-го, 640-го 720-го, 800-го витков, ПЭВ2-0,64	
	w_2=76, отводы от 4-го, 8-го, 12-го, 28-го, 44-го, 60-го, 76-го витков, ПЭВ-2/0,64	
	w_3=64, отводы от 16-го, 32-го, 48-го, 64-го витков ПЭВ2-0,64	
Сопротивления *r1*, *r2*	*r*=200 *ом*, ПЭ-15, ГОСТ 6513-53	
Конденсаторы: C_1	*C*=2×4 *мкф*, $U_{раб}$=400 *в*	Тип МБГП
C_2	*C*=(0,5+1)=1,5 *мкф* $U_{раб}$=1 500 *в*	ГОСТ 7112-54
Реле сопротивления *РС*:	w_1=1 260×2	ПЭВ2-0,25
	w_2=2 100×4	ПЭВ2-0,23

водится напряжение U_{AB} при двухфазном к. з. между фазами *A* — *C*.

На полюсах магнитопровода (рис. 3-96) расположены две последовательно включенные катушки рабочей обмотки $w_р$.

Последовательно с обмоткой $w_р$ включено сопротивление *r1*, а параллельно им — конденсатор *C1*. Контур $w_р$, *r1*, *C1* настроен в резонанс токов при частоте, несколько большей 50 *гц*, и включен в цепь рабочей обмотки реле последовательно с эквивалентной э. д. с., пропорциональной разности напряжения U_{AC} от автотрансформатора *Tu* и э. д. с. от тока I_A—I_C, создаваемого на вторичной обмотке трансреактора *Tx* (трансформатора с воздушным зазором). Для создания необходимого угла максимальной чувствительности часть витков вторичной обмотки *Tx* замкнута на регулируемое сопротивление *r2*.

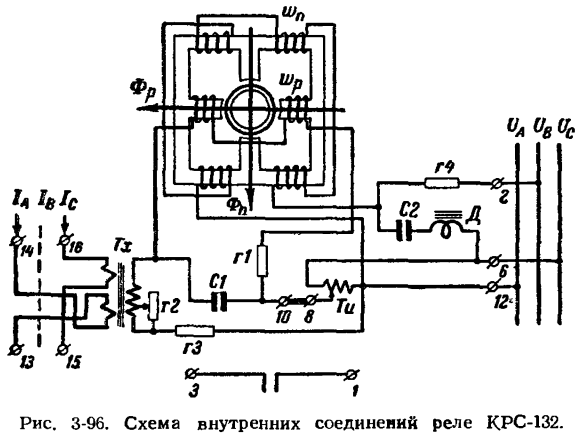


Рис. 3-96. Схема внутренних соединений реле КРС-132.

Параметры обмоток, *C1*, *r1*, *r3* подобраны так, что имеет место практически одинаковое протекание переходных процессов в контурах поляризующей и рабочей обмоток реле как при плавном, так и при резком изменении величины полного сопротивления на зажимах реле.

Под действием эквивалентной э. д. с. в рабочей обмотке проходит ток, создающий магнитный поток $Ф_р$. Полярность включения рабочей обмотки автотрансформатора *Tu* и трансреактора *Tx* должна быть такой, чтобы при отсутствии тока взаимодействие $Ф_р$ и $Ф_п$ создавало момент на размыкание, а при отсутствии напряжения — на замыкание контактов реле. Вследствие этого при к. з. за пределами защищаемой зоны ($\varphi_{к.з} \approx \varphi_{м.ч}$ реле клинит, так как э. д. с. от *Tu* больше, чем от *Tx*, и, следовательно, $I_{р.и}$ больше, чем $I_{р.т}$ на диаграмме рис. 3-97).

При к. з. в зоне действия (при $\varphi_{к.з} \approx \varphi_{м.ч}$) реле срабатывает, так как в этом случае изменяется направление магнитного потока, создаваемого рабочей обмоткой (э. д. с. от *Tx* становится больше, чем напряжение от *Tu*, и $I_{р.т}$ будет больше, чем $I_{р.и}$).

При к. з. с углом $\varphi_{м.ч}+180°$ (за шинами своей подстанции) фаза тока изменяется на 180°, а э. д. с. от *Tx* будет совпадать с напряжением от *Tu*, в этом случае независимо от удаленности к. з. реле всегда будет клинить.

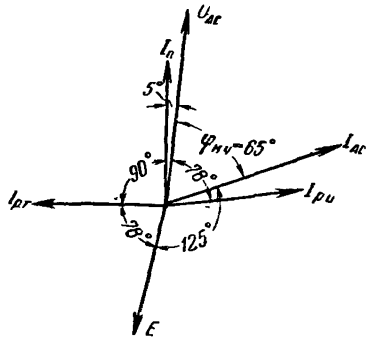


Рис. 3-97. Векторная диаграмма реле КРС-131 и КРС-132. U_{AC} и I_{AC}—напряжение и ток, подведенные к реле; $I_п$—ток в поляризующей обмотке $w_п$; $\gamma_п$—фаза тока $I_п$ относительно напряжения U_{AC}; $I_{р.у}$—ток в рабочей обмотке $w_р$, созданный напряжением U_{AC}; $I_{рт}$—ток в рабочей обмотке $w_р$, созданный э. д. с. E вторичной обмотки трансреактора Tx; $\alpha_р$—фаза тока в рабочей обмотке $w_р$ относительно напряжения, приложенного ко всему рабочему контуру—от Tu или Tx; $\varphi_{м.ч}$—угол максимальной чувствительности.

Условие частотного резонанса в поляризующей обмотке обеспечивает действие реле при близких трехфазных к. з. в зоне, когда напряжение снижается до нуля (действие реле «по памяти» при к. з. в мертвой зоне защиты).

Метровая зона при двухфазных к. з. на фазе $A-C$ устраняется подпиткой поляризующей обмотки от напряжения третьей фазы.

Векторная диаграмма реле приведена на рис. 3-97. Регулировка уставок сопротивления срабатывания осуществляется на автотрансформаторе Tu, имеющем отпайки (рис. 3-98).

Для проверки направленности действия реле под нагрузкой предусмотрена перемычка *10-8*, перестановкой которой в положение *10-12* реле сопротивления переводится в режим реле направления мощности (с углом $\varphi_{м.ч}$, близким к углу $\varphi_{м.ч}$ реле сопротивления), из цепи рабочей обмотки в этом случае исключается трансформатор Tu.

Реле КРС-132 применяется как одноступенчатое дистанционное реле или как пусковое реле в защите типа ПЗ-157 (ПЗ-158).

Реле КРС-131 по принципу действия и конструкции аналогично реле КРС-132.

Схема реле (рис. 3-99) предусматривает возможность независимой регулировки уставок в двух зонах. В отличие от реле КРС-132 реле КРС-131 имеет дополнительную ступенчатую регулировку уставки в цепях тока (рис. 3-100), общую для обеих зон, что повышает пределы возможных уставок реле. Плавная регулировка уставки обеих зон выполняется на автотрансформаторе Tu (рис. 3-101).

Если реле применяется в схеме двухступенчатой

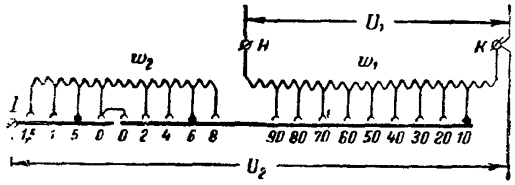


Рис. 3-98. Схема соединений автотрансформатора Tu реле КРС-132 (цифры указывают процент включенных витков от общего числа витков обмотки w_1).

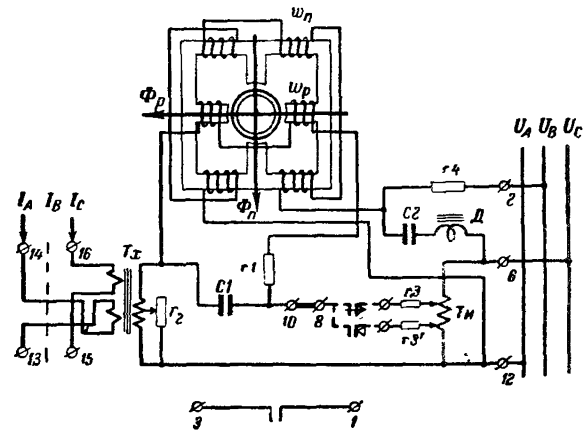


Рис. 3-99. Схема внутренних соединений реле КРС-131.

дистанционной защиты, имеющей переключение уставок с I зоны на II, то контакты переключательного реле должны быть *мостящими*, т. е. переключаться без разрыва цепи.

Реле КРС-121 представляет собой многофазное компенсационное направленное реле сопротивления, действующее при всех видах двухфазных к. з. Реле не имеет *мертвой* зоны при близких двухфазных к. з. Реле работает при трехфазных к. з. и качаниях, не сопровождающихся несимметричными к. з. Схема внутренних соединений реле представлена на рис. 3-102. Четырех-

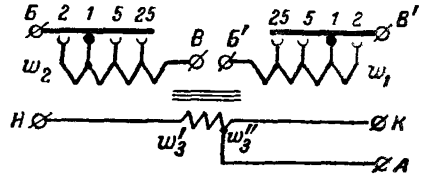


Рис. 3-100. Схема трансреактора Tx реле КРС-121 и КРС-131 (цифры на отпайках указывают минимальное сопротивление срабатывания реле, которое получается при уставке Tx на данной отпайке и максимальной отпайке на Tu. Схема трансреактора реле КРС-132 аналогична, только он не имеет отпаек).

полюсная индукционная система реле, аналогичная системам реле КРС-131 и КРС-132, имеет две обмотки, создающие потоки через две пары взаимно перпендикулярных полюсов. Назначение и схемы обмоток реле КРС-121 аналогичны таковым для реле КРС-131.

Обмотка w_1 имеет дополнительные сопротивления $r10$ ($r10'$—$r10'''$) по 39 *ком* каждое, которые при необходимости включаются на напряжение третьей фазы U_C. Назначение $r10$ указано ниже.

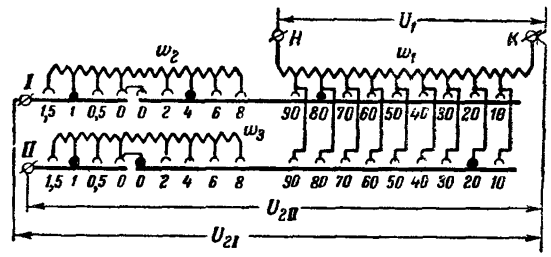


Рис. 3-101. Схема соединений автотрансформатора Tu реле КРС-121 и КРС-131.

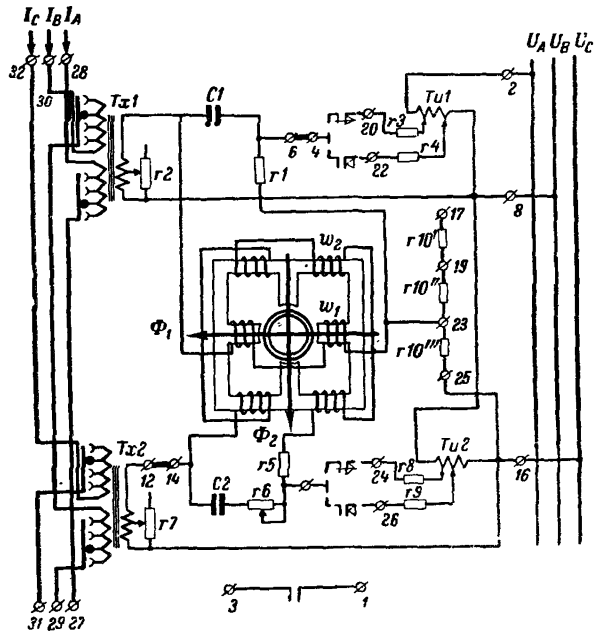


Рис. 3-102. Схема внутренних соединений реле КРС-121.

Сопротивление *r6* предусмотрено для выравнивания углов полного сопротивления обеих обмоток реле.

Токи, создаваемые эквивалентной э. д. с. каждого контура, пропорциональны:

$I_1 \equiv U_1 \equiv U_{AB} - z_y(I_A - I_B)$ — ток в I контуре (обмотка w_1);

$I_2 \equiv U_2 \equiv U_{CB} - z_y(I_C - I_B)$ — ток во II контуре (обмотка w_2).

При равенстве углов полного сопротивления обмоток w_1 и w_2 момент на реле пропорционален следующему выражению:

$$M = -k_1 U_1 U_2 \sin\alpha = -k_2 I_1 I_2 \sin\alpha,$$

где U_1, U_2 (I_1, I_2) — скалярные величины.

Знак минус перед выражением момента означает, что реле в нормальных условиях клинит. Положительное направление угла α — от U_1 к U_2 (рис. 3-103) (при чередовании фаз *A*, *B*, *C*). В нормальном режиме при трехфазном к. з. и при качаниях угол α меньше 180° и момент $M<0$. При двухфазных к. з. в зоне угол α больше 180°, момент $M>0$ и реле срабатывает.

Устранение самохода от обмотки w_1 (при питании ее напряжением от *Tu1* или током от *Tx1*) производится обычным путем — поворотом сердечника в магнитопроводе реле. С целью устранения самохода от обмотки w_2 предусмотрено сопротивление *r10*, через которое обмотка w_1 подключается на напряжение третьей фазы, что позволяет создать момент на реле, компенсирующий самоход от w_2. Регулировка уставок реле и требования к переключательным контактам аналогичны реле КРС-131. Для переключения реле КРС-121 на схему реле направления мощности (при проверке под нагрузкой) предусмотрены две перемычки: *6-4* и *12-14*, которые устанавливаются соответственно в положения *6-8* и *14-16*, при этом из обмотки w_1 исключается цепь напряжения, а из обмотки w_2 — цепь тока.

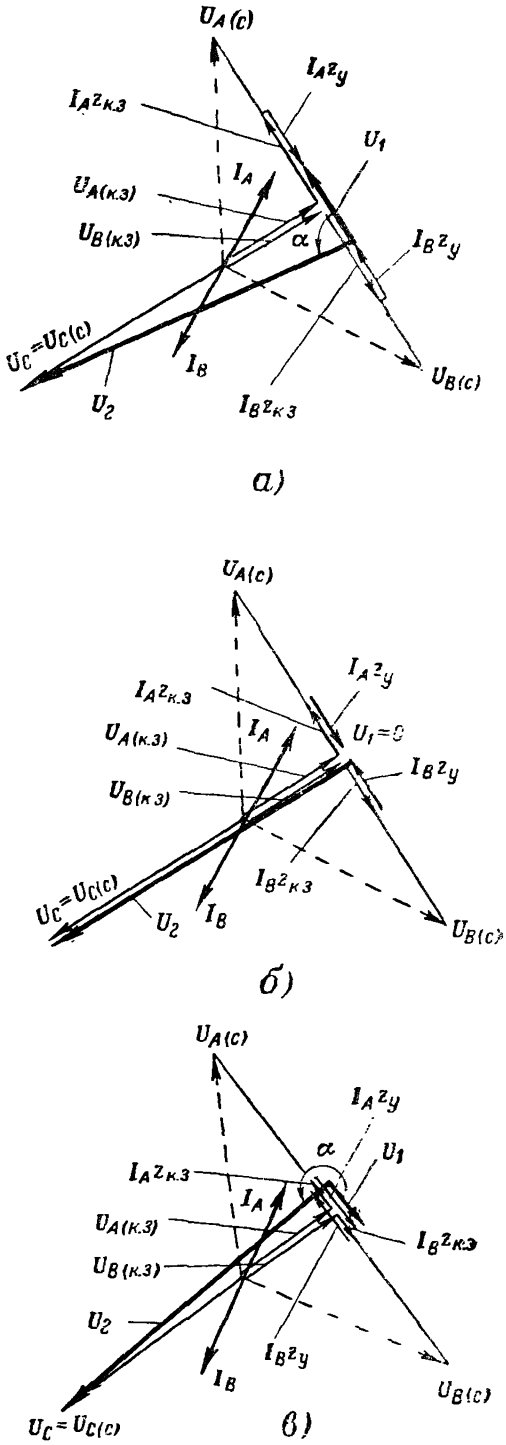


Рис. 3-103. Векторная диаграмма, поясняющая работу реле КРС-121.

$U_{A(c)}$, $U_{B(c)}$, $U_{C(c)}$ — э. д. с. системы; *а* — двухфазное к. з. вне зоны действия реле ($z_{к.з} > z_y$); *б* — двухфазное к. з. на границе зоны ($z_{к.з} = z_y$); *в* — двухфазное к. з. в зоне действия реле ($z_{к.з} < z_y$).

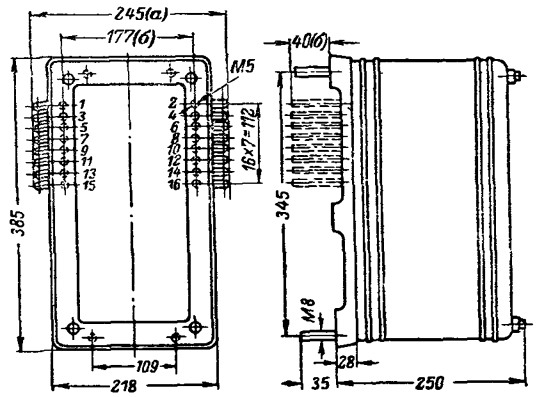


Рис. 3-104. Размеры реле КРС-131 и КРС-132.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Пример предварительного подбора заданных уставок на реле КРС.

Задано установить на реле.

КРС-121 и КРС-131 — z_1=1,2 *ом* на фазу вторичных;
z_2=4,8 *ом* на фазу вторичных;

КРС-132 — z_3 на 12 *ом* на фазу вторичных.

Угол полного сопротивления линии равен $\varphi_л$=60°.

Номинальный вторичный ток $I_н \approx 5$ *а*.

Так как реле обычного исполнения имеют $\varphi_{м.ч}$=65°, а $\varphi_л$= =60°, то считаем для предварительного подбора уставок $\varphi_{м.ч} \approx \approx \varphi_л$.

Реле КРС-121 и КРС-131. Выбирается ближайшая меньшая номинальная уставка на трансреакторах *Тх*, в данном случае она берется равной 1 *ом* на фазу, и принимаем z_0=1 *ом*. Если имеется паспорт на реле, то в нем должна быть истинная величина z_0, которую и нужно принимать в расчет, так как истинное значение z_0 может несколько отличаться от номинального значения z_0 (в пределах даиных табл. 3-78). Практически в предварительном выборе уставок это иесущественно, потому что окончательно уставка уточняется при электрической регулировке реле.

По заданной уставке первой зоны z_1 и величине z_0 иаходится $N_1 = \frac{z_1}{z_0} = \frac{1,2}{1} = 1,2$. Следовательно, на трансформаторах *Ти* нужно установить отпайки, равные:

$$n_1 = \frac{100}{N_1} = \frac{100}{1,2} = 85 = 80 + 4 + 1.$$

Аналогично для второй зоны имеем:

$$N_2 = \frac{z_2}{z_0} = \frac{4,8}{1} = 4,8; \quad n_2 = \frac{100}{4,8} = 20,8 \approx 20 + 1.$$

Реле КРС-132. Принимается номинальное значение z_0=2 (за отсутствием паспортных данных реле):

$$N_2 = \frac{z_3}{z_0} = \frac{12}{2} = 6; \quad n_3 = \frac{100}{N_3} = \frac{100}{6} = 16,7 \approx 10 + 6 + 0,5.$$

Следовательно, на трансреакторах *Тх1* и *Тх2* реле КРС-121 и *Тх* реле КРС-131 винты устаиавливаются в гнезда *1* (рис. 3-100), а на автотрансформаторах *Ти1* и *Ти2* (КРС-121) и *Ти* (КРС-131) для первой зоны винты ставятся в гнезда *80, 4, 1*, а для второй зоны — *20, 0, 1* (рис. 3-101); иа *Ти* КРС-132 винты устаиавливаются в гнезда *10; 6; 5* (рис. 3-98).

Определение токов точной работы реле

Реле КРС-121

Для I зоны — $I_{точн\,(1)} \leqslant I_{0точн} N_1 = 1,25 \cdot 1,2 = 1,5$ *а*.

Для II зоны — $I_{точн\,(2)} \leqslant I_{0точн} N_2 = 1,25 \cdot 4,8 = 6$ *а*.

Реле КРС-131

Для I зоны — $I_{точн\,(1)} \leqslant \frac{I_{0точн}}{\sqrt{N_1}} = \frac{2}{\sqrt{1,2}} = 1,8$ *а*.

Для II зоны $I_{точн\,(2)} \leqslant \frac{I_{0точн}}{\sqrt{N_2}} = \frac{2}{\sqrt{4,8}} = 0,9$ *а*.

Реле КРС-132

Для III зоны $I_{точн\,(3)} \leqslant \frac{I_{0точн}}{\sqrt{N_3}} = \frac{2}{\sqrt{6}} = 0,82$ *а*.

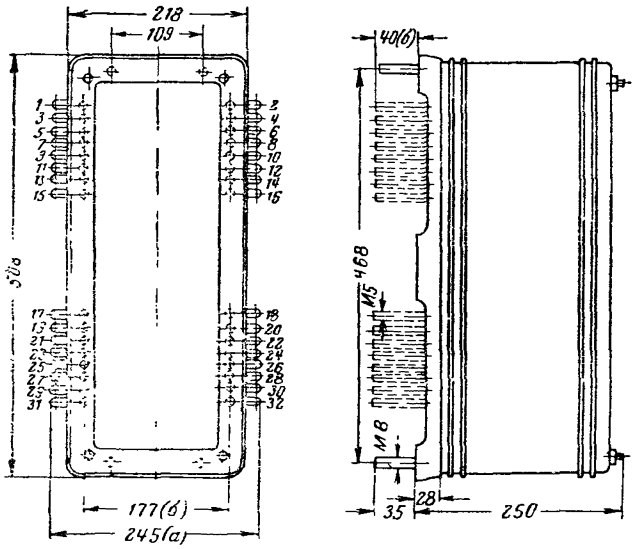


Рис. 3-105. Размеры реле КРС-121.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

3-39. ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ РЕЛЕ СЕРИЙ РП И РПБ

Реле применяются в схемах защиты, автоматики, телемеханики и связи в тех случаях, когда требуются высокая чувствительность, быстродействие или реагирование на определенную полярность напряжения (тока).

Принцип действия, классификация и устройство реле серии РП (РПБ)

Принципиальная схема магнитных цепей реле серии РП (РПБ) приведена на рис. 3-106. Работа реле основана на взаимодействии двух независимых друг от друга магнитных потоков: $Ф_0$ — поляризующего, создаваемого постоянным магнитом, и $Ф_т$ — рабочего или управляющего, создаваемого обмоткой реле.

При подаче тока в обмотку реле в нижнем магнитопроводе появляется рабочий (управляющий) поток $Ф_т$, который в левом

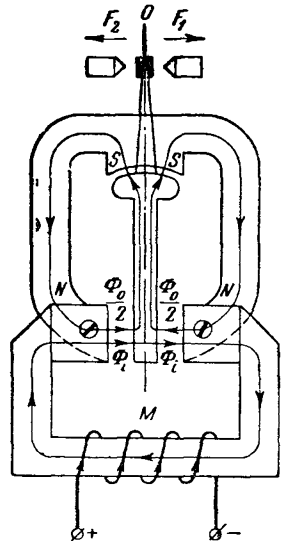


Рис. 3-106. Принципиальная схема магнитных цепей поляризованиого реле.

Таблица 3-8

Технические данные реле КРС-121, КРС-131, КРС-132

Наименование параметра			КРС-121	КРС-131	КРС-132
$U_{ном}$ 50 *гц*, *в*			100		
$I_{ном}$, *а*			5 или 1		
$P_{потр}$ цепи: тока при наибольшей уставке на трансреакторах *Тх*, *ва* на фазу			7		
напряжения при наибольшей уставке на *Ти*, *ва* на фазу			30	25	
Пределы $z_{ср}$, *ом* на фазу	$I_{ном}$=5 *а*		0,25—20		2—20
	$I_{ном}$=1 *а*		1,25—100		20—100
$z_{ср}$ регулируемые в цепях тока имеют значения (при максимальной отпайке на *Ти*) и $\varphi_{м.ч}$=65° *ом* на фазу при положении штепселей на *Тх*:					
.25 для	$I_{ном}$=5 *а*		0,25±0,03		—
	$I_{ном}$=1 *а*		1,25±0,15		—
.5 для	$I_{ном}$=5 *а*		0,5±0,06		—
	$I_{ном}$=1 *а*		2,5±0,3		—
1 для	$I_{ном}$=5 *а*		1,1±0,1	1±0,1	—
	$I_{ном}$=1 *а*		5,5±0,5	5±0,5	—
2 для	$I_{ном}$=5 *а*		2,2±0,2	2±0,2	
	$I_{ном}$=1 *а*		11±1	10±1	
$z_{ср}$, регулируемые в цепях напряжения (на *Ти*)			в пределах от $z_{ср}$, выбранного на *Тх*, до 10 $z_{ср}$ ступенями не более 5% наибольшей величины уставки		
Угол максимальной чувствительности ($\varphi_{м.ч}$) в заводской регулировке			65±4° (по специальному заказу выполняется 75±3°)		
10% точность $z_{ср}$ (от 100 до 90% $z_{ср}$) обеспечивается при следующих значениях фазных токов, *а*, для:			От—до	От—до	От—до
$I_{ном}$=5 *а*	Уставка на *Тх*	.25	5,2—140	8—140	— —
		.5	2,6—100	4—100	— —
		1	1,27—60	2—60	— —
		2	0,635—30	1—30	2—35
$I_{ном}$=1 *а*		.25	1,12—28	1,6—28	— —
		.5	0,56—20	0,8—20	— —
		1	0,254—12	0,4—12	— —
		2	0,127—6	0,2—6	0,4—7
Выражение для определения тока точной работы (где $I_{0точн}$ — нижний предел тока предыдущей таблицы для данной отпайки на *Тх*, $N=\frac{100}{n}$, где n — сумма цифр, набранных на *Ти*)			$I_{точн} \leqslant I_{0точн} N$	$I_{точн} \leqslant \frac{I_{0точн}}{\sqrt{N}}$	

Продолжение табл. 3-78

Наименование параметра		КРС-121	КРС-131	КРС-132
Реле кратковременно надежно срабатывает (по памяти) при трехфазном к. з. в мертвой зоне с величиной тока			$I_{к.з} \geqslant 2I_{точн}$	
При двухфазных к. з. фаз *AB*, *BC* и *CA* разность наибольшего и наименьшего значений $z_{ср}$ не превышает, %		6	—	
$t_{ср}$ реле при $I_{кз} \geqslant 2I_{точн}$, *сек*				
в пределах:	0,7 $z_{ср}$	0,08		
	0,9 $z_{ср}$	0,15		
Термическая устойчивость цепей тока: при 1,1 $I_{ном}$ и цепей напряжения при 1,1 $U_{ном}$		Длительно		
Электрическая прочность изоляции всех цепей реле относительно корпуса при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		2 000		
$P_{конт. разр}$ в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой ($T=5 \cdot 10^{-3}$ *сек*) при U до 220 *в* и I до 1,5 *а*, *вт*		30		
Вес реле, *кг*		18,5	12,5	

Таблица 3-79

Параметры элементов реле КРС-121, КРС-131, КРС-132

Тип реле	Название и обозначение по схеме	Технические данные		
КРС-121	Автотрансформаторы напряжения *Tu1*, *Tu2*	$w_1=800$ (80×10) $w_2=w_3=76$, отводы от 4-го, 8-го, 12-го, 28-го, 44-го, 60-го и 76-го витков, ПЭВ2-0,64		
	Трансреакторы *Tx1*, *Tx2*	$I_{ном}=5$ *а*	$w_1=w_2=16$ отводы от 2-го, 4-го и 8-го витков ПБД-1,56 $w'_3=900$, ПЭЛ-0,31 $w''_3=250$, ПЭЛ-0,47	Зазор в магнитопроводе 4 *мм*
		$I_{ном}=1$ *а*	$w_1=w_2=80$ отводы от 10-го, 20-го, и 40-го витков, ПЭЛ-0,93 $w'_3=900$, ПЭЛ-0,31 $w''_3=250$, ПЭЛ-0,47	
	Сопротивления *r1*, *r3*, *r4*, *r8*, *r9*	$r=100$ *ом*, ПЭ, ГОСТ 6513-53		
	Сопротивления регулируемые *r2*, *r6*, *r7*	$r_{макс}=30$ *ом*, проволока константановая МНМц 40-1,5-0,4, ГОСТ 5307-50		
	Сопротивление *r5*	$r=150$ *ом*, ПЭ, ГОСТ 6513-53		
	Сопротивление *r10*	3×39 *ком*=117 *ком*, ВС, ГОСТ 6562-53		
	Конденсаторы *C1*, *C2*	$C_1=C_2=16$ *мкф* (4×4 *мкф*), $U_{раб}=400$ *в*, тип МБГП, ГОСТ 7112-54		
	Обмотка реле сопротивления w_1	$w_1=850 \times 2$, ПЭВ2-0,31		

Продолжение табл. 3-79

Тип реле	Название и обозначение по схеме	Технические данные		
КРС 121	Обмотка реле сопротивления w_2	w_2=700×4, ПЭВ2-0,41		
КРС-131 и КРС-132	Автотрансформатор *Ти*	w_1=800 (80×10), w_2=w_3=76, отводы от 4-го, 8-го, 12-го, 28-го, 44-го, 60-го, и 76-го витков, ПЭВ2-0,64		
КРС-131	Трансреактор *Тх*	$I_{ном}$=5 *а*	w_1=w_2=16, отводы от 2-го, 4-го, 8-го витков, ПБД-1,56 w'_3=900, ПЭЛ-0,31 w''_3=250, ПЭЛ-0,47	Зазор в магнитопроводе 4 *мм*
		$I_{ном}$=1 *а*	w_1=w_2=80, отводы от 10-го, 20-го, 40-го витков ПЭЛ-0,93 w'_3=900, ПЭЛ-0,31 w''_3=250, ПЭЛ-0,47	
КРС-131 и КРС-132	Дроссель *Д*	w=3 100, ПЭЛ 0,29, зазор 2,6 *мм*		
	Конденсатор C_1	C_1=16 *мкф* (4×4 *мкф*), $U_{раб}$=400 *в*, тип МБГП, ГОСТ 7112-54		
	Конденсатор C_2	C_2=1 *мкф*, $U_{раб}$=1 500 *в*, тип МБГП		
	Сопротивления *r1*, *r3*, *r3'*	*r*=100 *ом*, ПЭ, ГОСТ 6513-53		
	Сопротивление регулируемое *r2*	$r_{макс}$=30 *ом*, проволока константановая МНМц-40-1,5-0,4, ГОСТ 5307-50		
	Сопротивление *r4*	*r*=39 *ком*, ВС, ГОСТ 6562-53		
	Рабочая обмотка $w_р$	$w_р$=850×2, ПЭВ2-0,31		
	Поляризующая обмотка $w_п$	$w_п$=1 750×4, ПЭВ2-0,25		
КРС-132	Трансреактор *Тх*	$I_{ном}$=5 *а*	w_1=w_2=13, ПБД-1,56 w'_3=800, ПЭЛ-0,31 w''_3=200, ПЭЛ-0,47	Зазор в магнитопроводе 2,6 *мм*
		$I_{ном}$=1*а*	w_1=w_2=65, ПЭЛ-1,0 w'_3=800, ПЭЛ-0,31 w''_3=200, ПЭЛ-0,47	

воздушном зазоре складывается с потоком $Ф_0/2$, а в правом вычитается из потока $Ф_0/2$. Поэтому на якорь будет действовать результирующая сила на замыкание правого контакта.

Поляризованное реле может быть отрегулировано нейтрально или с преобладанием к одному из полюсов.

Нейтральной (или двухпозиционной) называется такая регулировка, при которой при перемене полярности тока якорь перебрасывается от одного контакта к другому, а при снятии тока остается у контакта, к которому он был переброшен.

При регулировке с полным преобладанием якорь реле после отключения тока в обмотках всегда возвращается к контакту покоя.

При недостаточной величине постоянного магнитного потока для отклонения якоря до замыкания контактов он при отсутствии тока в обмотках будет оставаться в нейтральном положении и не будет касаться контактов. Такая регулировка называется трехпозиционной, так как при включении тока различной полярности в обмотки якорь может замыкать как правый, так и левый контакты.

По принципу работы реле РП (РПБ) разделяются: РП-4 (РПБ-4) — двухпозиционное, РП-5 (РПБ-5) — трехпозиционное; РП-7 (РПБ-7) — двухпозиционное с преобладанием к левому контакту.

Реле РП-4, РП-7 имеют одинаковое конструктивное выполнение (рис. 3-107); постоянный магнит *1* запрессован в немагнитный (силуминовый) корпус реле, катушка *2* с подковообразным пермаллоевым магнитопроводом *3* укреплена на корпусе при помощи винтов *7*. Магнитопровод *3* имеет на концах утолщения, образующие полюсные надставки *8* постоянного магнита. Якорь *4* из мягкой стали подвешен к силуминовой рамке *9*

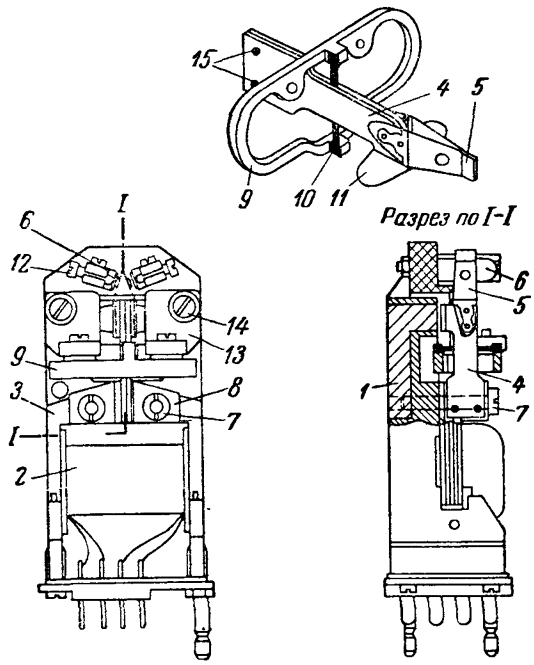


Рис. 3-107. Устройство поляризованного реле серии РП.

на плоской эластичной пружинке *10*, заменяющей ось. В верхней части якоря имеются крылышки *11*, которые при собранном реле располагаются над южным полюсом постоянного магнита. К якорю прикреплены две бронзовые пружины *5* с подвижными контактами из

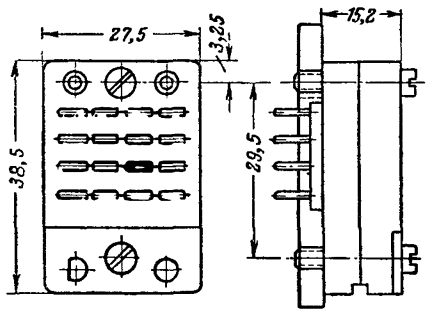


Рис. 3-108. Соединительная колодка для поляризованного реле РП-5 (РПБ-5).

платины. Подвижные контакты при повороте якоря могут замыкаться с неподвижными контактами *6*, имеющими регулировочные винты *12*.

Расположение контактов на пружинах снижает их вибрацию при замыкании. Неподвижные контакты и рамка *9* смонтированы на фарфоровой колодке *13*, которая крепится винтами *14* к корпусу реле. Рамка и якорь изолированы от корпуса и магнитопроводов, токоподвод к подвижным контактам осуществляется через якорь и рамку. Зазор между якорем и полюсами осуществляется изоляционными упорами *15*, вставленными в якорь.

Выводы обмоток и контактов припаиваются к ножам врубной колодки (рис. 3-108), имеющей 16 ножей.

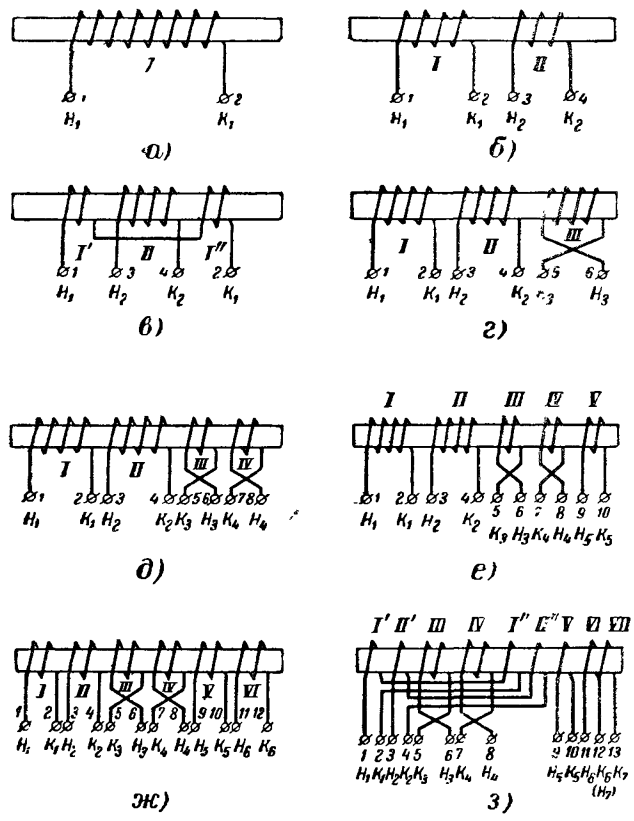


Рис. 3-109. Схемы включения обмоток поляризованных реле серии РП (РПБ) (см. табл. 3-81).

При включении плюса батареи к началу обмотки, а минуса — к концу, якорь реле замыкается с правым контактом, а при обратном включении якорь замыкается с левым контактом. На схеме указано взаимное расположение обмоток или их частей, например из рис. 3-109,*в* следует, что обмотка II намотана между двумя одинаковыми частями (I′ и I″) обмотки I. Соединение конца I′ обмотки с началом I″ выполняется внутри катушки без вывода наружу.

ножи с 1-го по 13-й предназначены для подсоединения обмоток, а остальные три имеют обозначения Л, Я, П, т. е. служат для подключения якоря, левого и правого неподвижных контактов.

Два направляющих штифта служат для включения врубной колодки в соединительную колодку. Для каждого типа реле имеется соответствующий тип соединительной колодки, а именно:

для реле РП-4 (РПБ-4) — колодка СК РП-4
» » РП-5 (РПБ-5) — » СК РП-5
» » РП-7 (РПБ-7) — » СК РП-7

Колодки имеют накладки, не допускающие включения реле других типов. Колодки без накладок позволяют подключать реле любого типа. Вид и размеры соединительной колодки даны на рис. 3-108.

Реле типа РП (РПБ) могут иметь от одной до шести независимых обмоток, при семи обмотках в двух обмотках имеется общая точка. Схемы включения обмоток поляризованных реле даны на рис. 3-109.

Реле закрывается алюминиевым защитным кожухом (рис. 3-110), в поляризованных реле дифференциально-фазной защиты типа ДФЗ-2 применены пластмассовые

Таблица 3-80

Технические данные реле серии РП (РПБ)

Наименование параметра	Величина
Наибольшее допустимое напряжение на обмотке и контактах, *в*	100*
Допустимая нагрузка обмотки, *вт*	1
$I_{ном}$ в цепи контактов, *а*	0,2
$U_{ном}$ на контактах, *в*	24*
Расстояние между контактами, *мм*	0,08
Воздушный зазор между магнитом и якорем, *мм*	0,3
Зазор между полюсным наконечником и якорем, *мм*	2×0,45
Реле могут применяться в среде с относительной влажностью 75% и температурой, С°:	
РП	От —40 до +50
РПБ	От —50 до +50
Количество срабатываний, допускаемых реле при номинальной безындукционной нагрузке контактов (0,2 *а*) и напряжении на контактах не более 24 *в*	10^7
Надежная работа реле обеспечивается при кратности тока к току срабатывания, равной	3—5
Электрическая прочность изоляции при частоте 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*:	
между токоведущими частями и корпусом	500
между контактами	350
между обмотками	150
$t_{ср}$ реле при прямоугольном напряжении 24 *в*, *мсек*, для:	
РП-4, РПБ-4	4,5—12,5
РП-5, РПБ-5	5—13,5
Вес реле, *г*	270

При использовании реле на напряжения оперативного тока 110—220 *в* минимальное расстояние между контактами должно быть отрегулировано 0,4—0,5 *мм*.

кожуха с встроенным стеклом, через которое просматриваются контакты.

Пластмассовый кожух исключает возможное замыкание контактных проводников на корпус реле.

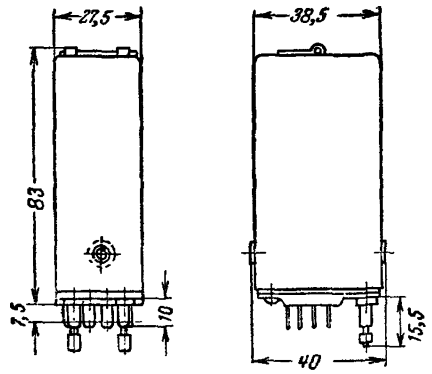


Рис. 3-110. Размеры поляризованных реле серии РП (РПБ).

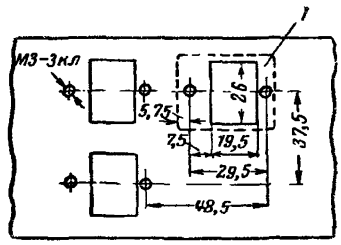


Рис. 3-111. Установочные размеры реле серии РП (РПБ).
1 — соединительная колодка.

На рис. 3-111 приведены установочные размеры реле серии РП (РПБ) с указанием наименьших расстояний при многорядном расположении соединительных колодок.

Поляризованные реле серии РПБ (реле поляризованные бескерамические) отличаются от реле серии РП отсутствием фарфоровой колодки; по остальным параметрам, как-то классификации, эксплуатационным данным, обмоточным данным, а также габаритным и установочным размерам — соответствуют поляризованным реле серии РП и являются взаимозаменяемыми. Выпускаются реле РПБ-4, РПБ-5 и РПБ-7, которые могут заменять соответственно реле РП-4, РП-5 и РП-7.

3-40. ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ РЕЛЕ СЕРИИ ДТ-110

Реле применяются для защиты источников постоянного тока от прохождения тока обратного направления.

Поляризованные реле серии ДТ-110 имеют обмотку напряжения, создающую поляризующий магнитный поток, и обмотку тока, создающую рабочий магнитный поток. При прохождении тока в прямом направлении контакты реле разомкнуты. При изменении направления тока на обратное реле срабатывает.

Размеры и общий вид реле серии ДТ-110 даны на рис. 3-112—3-114.

Реле типов ДТ-111 и ДТ-115 крепятся с помощью двух проходных винтов, реле типов ДТ-112 и ДТ-116 включаются в рассечку токоведущей шины, привинчиваемой к выводам токовой обмотки реле, которые служат одновременно для крепления реле.

Реле типов ДТ-113 и ДТ-117 крепятся непосредственно на шине. При ширине шины свыше 50 *мм* в ней необходимо сделать вырезы согласно рис. 3-115.

Обмотки напряжения реле серии ДТ-110 всех исполнений имеют номинальное напряжение 50 *в* и при

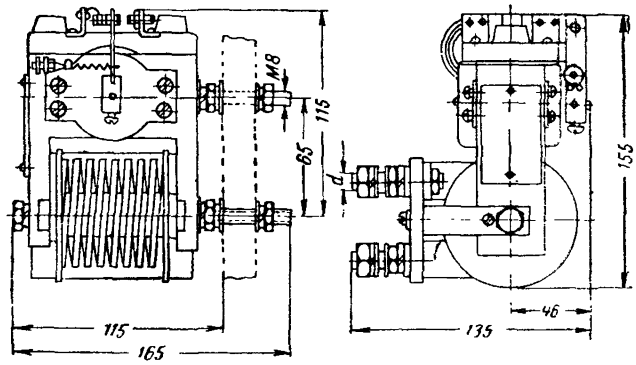


Рис. 3-112. Общий вид реле типов ДТ-111 и ДТ-115.

Таблица 3-81

Обмоточные данные и токи срабатывания реле РП-4 и РПБ-4

Схема обмоток реле на рис. 3-109	Обмоточные данные				Ток срабатывания	
	Номер обмотки	*r, ом*	Число витков	Марки и диаметр провода, *мм*	При включении обмоток	*ма*
з	I	130	1 250	ПЭЛ-0,09	I+II	0,4—1,6
	II	130	1 250	ПЭЛШО-0,09		
	III	130	1 250	ПЭЛ-0,09		
	IV	130	1 250	ПЭЛШО-0,09		
	V	28	300	ПЭЛШО-0,12	V	3,3—13,3
	VI	28	300	ПЭЛШО-0,12		
	VII	2 250	5 000	ПЭЛ-0,06	VII	0,2—0,8
в	I	8 500	22 000	ПЭЛ-0,05	I	0,045—0,18
	II	8 500	22 000	ПЭЛ-0,05	II	0,045—0,18
б	I	4,5	500	ПЭЛ-0,27	I+II	0,18—0,73
	II	300	5 000	ПЭЛ-0,14		
б	I	290	2 500	ПЭЛШО-0,09	I	0,4—1,6
	II	290	2 500	ПЭЛШО-0,09	II	0,4—1,6
в	I	6 000	17 000	ПЭЛ-0,05	I	0,058—0,24
	II	6 000	17 000	ПЭЛ-0,05	II	0,058—0,24
б	I	550	7 000	ПЭЛ-0,10	I	0,14—0,57
	II	15,5	740	ПЭЛ-0,25	II	1,35—5,4
в	I	4 800	17 000	ПЭЛ-0,06	I	0,058—0,24
	II	4 800	17 000	ПЭЛ-0,06	II	0,058—0,24

Таблица 3-82

Обмоточные данные и токи срабатывания реле РП-5 и РПБ-5

Схема обмоток реле на рис. 3-109	Обмоточные данные				Ток срабатывания	
	Номер обмотки	*r, ом*	Число витков	Марка и диаметр провода, *мм*	При включении обмоток	*ма*
б	I	1 300	10 000	ПЭЛ-0,07	I	0,1—0,4
	II	1 100	5 000	ПЭЛ-0,07	II	0,2—0,8
б	I	3 000	17 500	ПЭЛ-0,07	I+II	0,056—0,22
	II	27	500	ПЭЛ-0,15		
г	I	3 750	15 000	ПЭЛ-0,05	I	0,067—0,267
	II	6 000	15 000	ПЭЛ-0,05	II	0,067—0,267
	III	460	1 000	ПЭЛ-0,05	III	1—4
а	I	1 200	12 000	ПЭЛ-0,1	I	0,083—0,33
а	I	55	1 000	ПЭЛ-0,1	I	1—4
б	I	700	4 600	ПЭЛ-0,06	I+II	0,044—0,177
	II	4 700	18 000	ПЭЛ-0,06		
в	I	6 000	17 000	ПЭЛ-0,05	I	0,058—0,24
	II	6 000	17 000	ПЭЛ-0,05	II	0,058—0,24
д	I	3,0	400	ПЭЛ-0,31	I	2,5—10
	II	770	5 200	ПЭЛ-0,08	II	0,19—0,77
	III	16	300	ПЭЛ-0,15	III	3,3—13,3
	IV	17	300	ПЭЛ-0,15	IV	3,3—13,3

Продолжение табл. 3-82

Схема обмоток реле на рис. 3-109	Обмоточные данные				Ток срабатывания	
	Номер обмотки	*r, ом*	Число витков	Марка и диаметр провода, *мм*	При включении обмоток	*ма*
в	I	1 000	6 000	ПЭЛ-0,07	I	0,17—0,67
	II	1 000	6 000	ПЭЛ-0,07	II	0,17—0,67
з	I	130	1 250	ПЭЛ-0,09	I+II	0,4—1,6
	II	130	1 250	ПЭЛШО-0,09		
	III	130	1 250	ПЭЛШО-0,09		
	IV	130	1 250	ПЭЛШО-0,09		
	V	28	300	ПЭЛШО-0,12	V	3,3+13,3
	VI	28	300	ПЭЛШО-0,12		
	VII	2 250	5 000	ПЭЛ-0,06	VII	0,2+0,8
б	I	200	4 600	ПЭЛ-0,14	I	0,22—0,87
	II	2 600	1 000	ПЭШОК-0,12	II	1—4
ж	I	48	750	ПЭЛШО-0,12	I	1,33—5,3
	II	48	750	ПЭЛШО-0,12		
	III	48	750	ПЭЛШО-0,12		
	IV	48	750	ПЭЛШО-0,12		
	V	94	1 000	ПЭЛ-0,12	V	1—4
	VI	4	200	ПЭЛ-0,27	VI	5—20
а	I	4 000	17 000	ПЭЛ-0,05	I	0,059—0,24
а	I	10 500	34 000	ПЭЛ-0,05	I	0,029—0,12
г	I	2 700	15 000	ПЭЛ-0,06	I	0,067—0,267
	II	5 000	15 000	ПЭЛ-0,06	II	0,067—0,267
	III	460	1 200	ПЭЛ-0,06	III	0,835—3,32
а	I	4 000	19 000	ПЭЛ-0,06	I	0,053—0,21
в	I	4 800	17 000	ПЭЛ-0,06	I	0,058—0,24
	II	4 800	17 000	ПЭЛ-0,06	II	0,058—0,24
а	I	9 500	34 000	ПЭЛ-0,06	I	0,029—0,12

Таблица 3-83

Обмоточные данные и токи срабатывания реле РП-7 и РПБ-7

Схема обмоток реле на рис. 3-109	Обмоточные данные				Ток срабатывания	
	Номер обмотки	*r, ом*	Число витков	Марка и диаметр провода, *мм*	При включении обмоток	*ма*
в	I	1,5	320	ПЭЛ-0,44	I+II	6,25—15,6
	II	1,5	320	ПЭЛ-0,44		
е	I	65	1 200	ПЭЛ-0,1	I	3,3—8,3
	II	9	500	ПЭЛ-0,2		
	III	100	1 100	ПЭЛ-0,1		
	IV	2 350	8 000	ПЭЛ-0,06		
	V	2 900	8 000	ПЭЛ-0,06		
з	I	130	1 250	ПЭЛ-0,09	I	3,2—8
	II	130	1 250	ПЭЛШО-0,09		
	III	130	1 250	ПЭЛ-0,09		
	IV	130	1 250	ПЭЛШО-0,09		
	V	28	300	ПЭЛШО-0,12	V	13,3—33,3
	VI	28	300	ПЭЛШО-0,12		
	VII	2 350	5 000	ПЭЛ-0,06	VII	0,8—2

Продолжение табл. 3-83

Схема обмоток реле на рис. 3-109	Обмоточные данные				Ток срабатывания	
	Номер обмотки	*r, ом*	Число витков	Марка и диаметр провода, *мм*	При включении обмоток	*ма*
а	I	6 300	23 000	ПЭЛ-0,05	I	0,17—0,43
а	I	8 500	22 000	ПЭЛ-0,05	I	0,182—0,454
д	I II III IV	2,5 800 2 200 13	100 7 000 11 000 100	ПЭЛ-0,15 ПЭЛ-0,08 ПЭЛ-0,08 ПЭЛ-0,12	 II III 	 1,45—2,2 0,92—1,4
г	I II III	3 700 470 140	18 000 4 000 1 000	ПЭЛ-0,06 ПЭЛ-0,1 ПЭЛ-0,1	I II III	0,22—0,55 1,0—2,5 4—10
а	I	6 300	25 500	ПЭЛ-0,06	I	0,153—0,386
в	I II	4 800 4 800	17 000 17 000	ПЭЛ-0,06 ПЭЛ-0,06	I	0,235—0,586
е	I II III IV V	2,1 2,4 1 400 600 2 500	100 100 7 000 3 000 10 000	ПЭЛ-0,15 ПЭЛ-0,15 ПЭЛ-0,06 ПЭЛ-0,07 ПЭЛ-0,07	 III 	 1,45—2,2
б	I II	600 8 000	4 000 25 000	ПЭЛ-0,06 ПЭЛ-0,06	I II	1—2,5 0,16—0,4
б	I II	730 600	8 800 4 200	ПЭЛ-0,1 ПЭЛ-0,1	I II	0,45—1,14 0,95—2,38

Таблица 3-84

Исполнения реле серии ДТ-110

Тип реле	ДТ-111	ДТ-115	ДТ-112	ДТ-116	ДТ-113	ДТ-117
Количество и исполнение контактов	1 замыкающий	1 размыкающий	1 замыкающий	1 размыкающий	1 замыкающий	1 размыкающий
$I_{ном}$, *а*	6, 12, 25, 50, 100, 150, 200, 300		400, 600, 800		1 600	

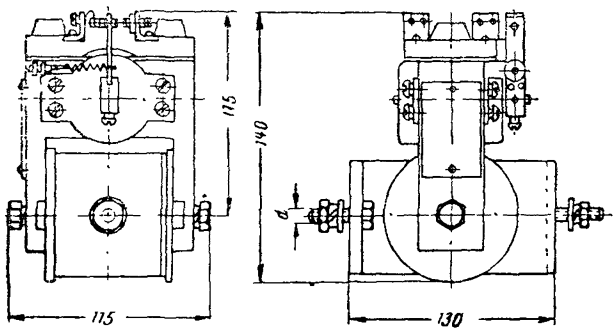


Рис. 3-113. Общий вид реле типов ДТ-112 и ДТ-116.

Таблица 3-85

Диаметры соединительных винтов токовой обмотки реле ДТ-11, ДТ-115, ДТ-112 и ДТ-116

$I_{ном}$, *а*	6, 12, 25	50, 100	150, 200	300, 400, 600	800
Величина диаметра (рис. 3-112, 3-113), *мм*	М6	М8	М10	М12	М16

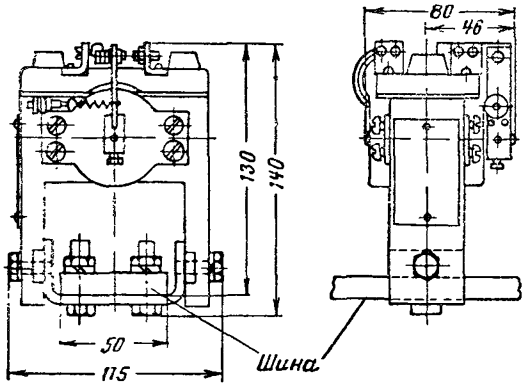


Рис. 3-114. Общий вид реле типов ДТ-113 и ДТ-117.

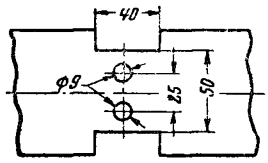


Рис. 3-115. Форма выреза шины для крепления реле типов ДТ-113 и ДТ-117.

большем номинальном напряжении сети включаются через добавочные сопротивления типа ДС-51, общий вид и размеры которого приведены на рис. 3-116.

Выводы обмоток напряжения и тока имеют обозначение полярности, в соответствии с которой они должны включаться.

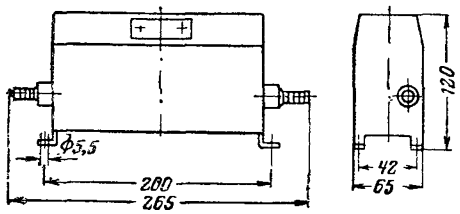


Рис. 3-116. Размеры добавочного сопротивления типа ДС-51.

Таблица 3-86

Технические данные реле серии ДТ-110

Наименование параметра	Величина
$U_{ном}$ обмотки напряжения, *в*	50
$P_{потр}$ обмотки напряжения при $U_{ном}$, *вт*	5
Реле срабатывает при прохождении обратного тока, равного, % $I_{ном}$	Не более 15
Допускаемые кратковременные броски прямого тока, % $I_{ном}$	Не более 200
Тип и величина добавочного сопротивления обмотки напряжения для напряжения:	
$U_с$=110 *в*	ДС-51/4-800 *ом*
$U_с$=220 *в*	ДС-51/6-2 200 *ом*
$P_{конт.\ разр}$ в цепи постоянного тока при напряжении до 220 *в* и токе до 5 *а*, *вт*	100
Вес реле, *кг*	3—3,5
Вес добавочного сопротивления, *кг*	1

3-41. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОДОВЫЕ РЕЛЕ ТИПА КДР

Реле применяются в различных схемах защит, автоматики и телемеханики.

Имеются следующие исполнения кодовых реле типа КДР:

КДР-1 — быстродействующее реле с неразветвленной (Г-образной) магнитной системой с катушкой на обычном каркасе.

Реле может иметь до 5 контактных колонок, каждая с числом элементарных контактных групп до 3, с общим числом пружин не более 7 (рис. 3-117).

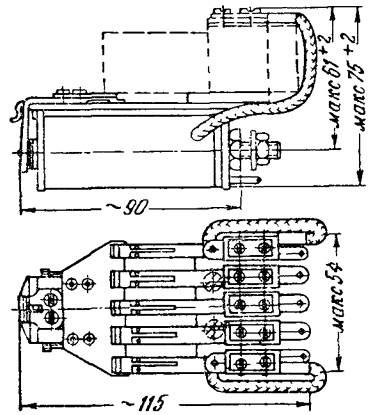


Рис. 3-117. Общий вид и размеры кодовых реле типов КДР-1, КДР-1м, КДР-3м.

КДР-1М — аналогичное реле КДР-1, но с катушкой на медном каркасе. Число контактных колонок не более 3 (рис. 3-117).

КДР-2 — быстродействующее реле с неразветвленной магнитной системой и катушкой на обычном каркасе (рис. 3-118). Имеет одну или две контактные колонки. Удлиненная изоляционная планка якоря позволяет получить относительно большой коэффициент возврата.

КДР-3М — медленно действующее реле с разветвленной (П-образной) магнитной системой и с катушкой на медном каркасе. Имеет до 5 контактных колонок.

КДР-5М — медленно действующее реле с разветвленной магнитной системой, увеличенного размера, с ка-

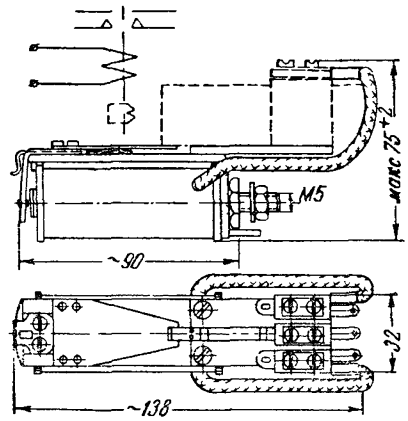


Рис. 3-118. Общий вид и размеры кодового реле типа КДР-2.

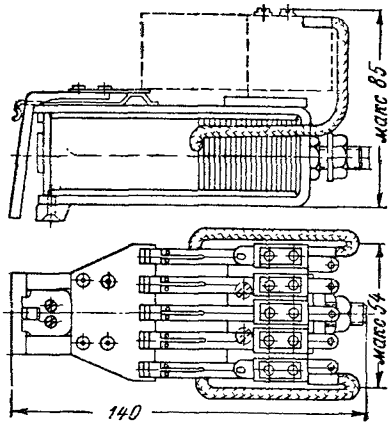


Рис. 3-119. Общий вид и размеры кодовых реле типов КДР-5м, КДР-6м. В реле КДР-5м рядом с якорем расположена катушка, а в реле КДР-6м — шайбы.

тушкой на медном каркасе и с медными шайбами. Катушка расположена рядом с якорем (рис. 3-119). Число контактных колонок не выше 5.

КДР-6М — медленно действующее реле, аналогичное КДР-5М, но с укороченной катушкой и увеличенным количеством медных шайб, которые расположены рядом с якорем (рис. 3-119). Число контактных колонок не более 5.

КДРТ — быстродействующее реле с неразветвленной магнитной системой и с одной контактной группой на переключение. Реле имеет металлокерамические контакты и повышенную разрывную мощность контактов.

Таблица 3-87

Основные размеры и веса реле КДР

Тип реле	Количество контактных колонок	Длина, *мм*	Ширина, *мм*	Максимальная высота, *мм*	Вес, *г*
КДР-1	1—3	115	32	75	410
КДР-1м	1—3	115	32	75	450
КДР-1	4	115	43	75	440
КДР-1	5	115	54	75	470
КДР-2	1—2	138	32	70	420
КДР-3м	2—3	115	32	80	500
КДР-3м	4	115	43	75	530
КДР-3м	5	115	54	75	560
КДР-5м	2—3	140	34	85	950
КДР-5м	4	140	42	85	965
КДР-5м	5	140	54	85	980
КДР-6м	2—3	140	34	85	950
КДР-6м	4	140	42	85	970
КДР-6м	5	140	54	85	1 000
КДРТ	1	120	39	85	430

Реле типа КДР имеют съемные катушки.

Контактный набор состоит из контактных колонок, а последние — из элементарных контактных групп.

Стандартные элементарные группы реле КДР имеют номера: *0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9*, пластины для вывода концов обмоток имеют номер *1* (рис. 3-120).

При возбуждении реле контактные группы *2* и *3* замыкают цепь, *5* и *6* размыкают цепь, *7* и *9* переключают цепь с разрывом, а *0* и *4* переключают цепь без разрыва.

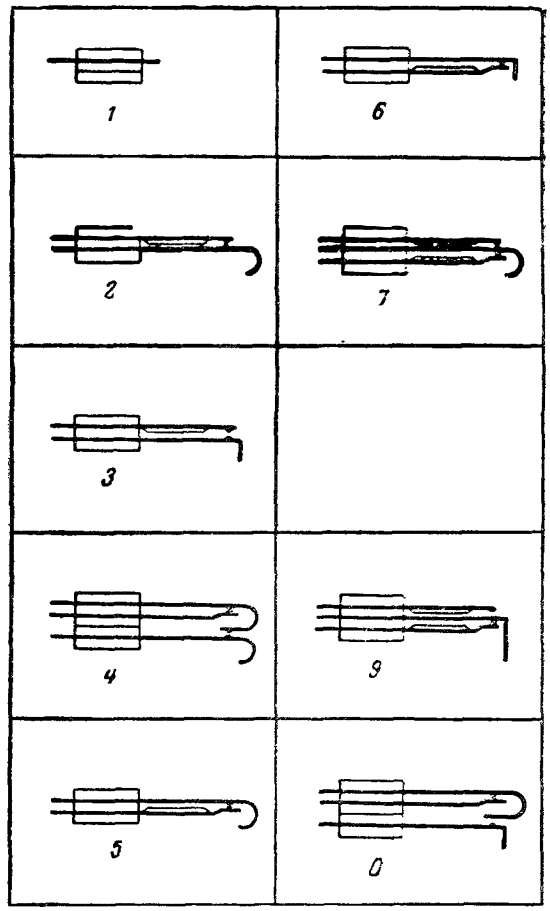


Рис. 3-120. Стандартные элементарные группы кодовых реле типа КДР.

Таблица 3-88

Общие технические данные реле КДР

Наименование параметра	Величина
$U_{ном}$ постоянного тока, *в*	6, 12, 24, 48, 110 и 220
Термическая устойчивость обмоток, *вт*, для катушек:	
карболитовых	3,5
медных	4
Электрическая прочность изоляции токоведущих цепей относительно магнитопровода при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	1 000
Сопротивление изоляции между токоведущими частями и магнитопроводом при 500 *в* постоянного тока, *Мом*	Не менее 100
Допускаемая величина тока, разрываемого контактами реле, *а*:	
серебряные контакты	2
металлокерамические контакты (реле КДРТ)	3
Количество срабатываний допускаемых реле без изменения характеристик	1 000 000

Пластины *1* располагаются самыми верхними на крайних колонках.

Элементарные группы *2, 5, 4, 7* устанавливаются непосредственно над якорем, а группы *3, 6, 0, 9* — над другими контактными группами.

Таблица 3-89

Коммутационная способность контактов реле КДР

Вид нагрузки	$U_{макс}$, постоянного или переменного тока, *в*	$P_{конт.\ разр}$	
		постоянного тока, *вт*	переменного тока, *ва*
Активная	60	50	—
	220	30	80
	24	50	—
Индуктивная ($\cos\varphi$=0,5)	60	30	—
	220	20	80

Таблица 3-90

Электрические характеристики и обмоточные данные реле КДР-1, КДР-1м, КДР-2, КДР-3м, КДРТ

$U_{ном}$, *в*	$I_{ном}$, *ма*	Обмоточные данные		
		r, ом	Число витков	Диаметр провода ПЭЛ, *мм*
6	193	31	2 600	0,35
6, 12	125, 250	48	3 200	0,31
12	166,6	72	4 000	0,29
12	100	120	5 150	0,25
12, 24	42, 8; 85,6	280	7 500	0,20
24	55,2	435	9 500	0,18
24	37	650	11 400	0,16
48	24	2 000	20 000	0,12
48, 100	12; 27,5	4 000	26 000	0,10
110	12,2	9 000	40 000	0,08
220	12,9	17 000	57 000	0,07

Таблица 3-91

Электрические характеристики и обмоточные данные реле КДР-5м

$U_{ном}$, *в*	$I_{ном}$, *ма*	Обмоточные данные		
		r, ом	Число витков	Диаметр провода ПЭЛ, *мм*
6	665	9	1 260	0,47
6	353	17	1 550	0,38
12	316	38	2 300	0,31
12	171,5	70	3 050	0,27
12; 24	83,2; 166,4	136	4 250	0,23
24	109	220	5 150	0,20
24	50,5	475	7 500	0,16
48	78	620	8 400	0 15
48	34,3	1 400	12 000	0,12
110	39,7	2 770	17 100	0,10
110	18,8	5 850	24 600	0,08
220	22	10 000	30 000	0,07
220	13,3	16 550	37 800	0,06

Состав колонок определяется номерами контактных групп, из которых они состоят, в том числе и пластины *1*, считая сверху вниз. В каждой контактной колонке не более семи пружин (вместе с пластиной *1*).

Состав набора определяется номерами колонок, записанных в порядке их расположения со стороны якоря, слева направо.

Таблица 3-92

Электрические характеристики и обмоточные данные реле КДР-6м

$U_{ном}$, *в*	$I_{ном}$, *ма*	Обмоточные данные		
		r, ом	Число витков	Диаметр провода ПЭЛ, *мм*
6	600	10	850	0,35
6	316	19	1 160	0,31
12	293	41	1 700	0,25
12	166	70	2 200	0,23
24	150	160	3 400	0,18
24	102	235	3 600	0,16
48	74	650	6 800	0,13
48	50	920	8 000	0,12
110	36,7	3 000	14 000	0,09
110	24,4	4 500	17 900	0,08
220	16	13 800	31 500	0,06
220	12	18 000	35 000	0,05

Таблица 3-93

Выдержки времени кодовых реле типа КДР-3м, КДР-5м, КДР-6м

Тип реле	Число контактных колонок	Время на срабатывание, *мсек*[1]	Время на отпадание, *мсек*[2]
КДР-3м	2—3	—	110—250
	4	—	90—120
	5	—	75—100
КДР-5м	1—2—3	—	300—550
	4	—	200—300
	5	—	150—300
КДР-6м	1—2—3	110—340	450—1 050
	4	190—300	400—500
	5	200—350	350—450

[1] Меньший предел соответствует минимальному давлению контактов на якорь (в притянутом положении), больший—максимальному.

[2] Меньший предел соответствует максимальному давлению контактов на якорь (в притянутом положении), больший—минимальному.

Реле типа КДР могут иметь в составе контактной колонки следующие наборы элементарных контактных групп: *1, 2, 4, 5, 7, 32, 65, 12, 14, 15, 17, 132, 165, 35, 37, 67, 97, 332, 335, 665, 135, 137, 167, 197, 1 332, 1 335, 1 665, 365, 02, 05, 07, 032, 035, 065, 1 365, 102, 107, 337, 637, 667.*

3-42. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЛЕ ТИПА МКУ-48 И МКУ-48с

Реле применяются в различных схемах автоматики и телемеханики в качестве промежуточных реле.

Электромагнитные реле типов МКУ-48 и МКУ-48с выполняются для питания от сети постоянного и переменного тока. Конструкция реле дана на рис. 3-121. На магнитопроводе *1* расположена обмотка *2*; якорь *3*, укрепленный на оси *10*, несет на себе изолирующую рамку *12*, при помощи которой осуществляется переключение подвижных контактов *4*. При обесточенном реле якорь под действием возвратной пружины *6* упирается в упор *8* и рамка *12* не воздействует на контакт-

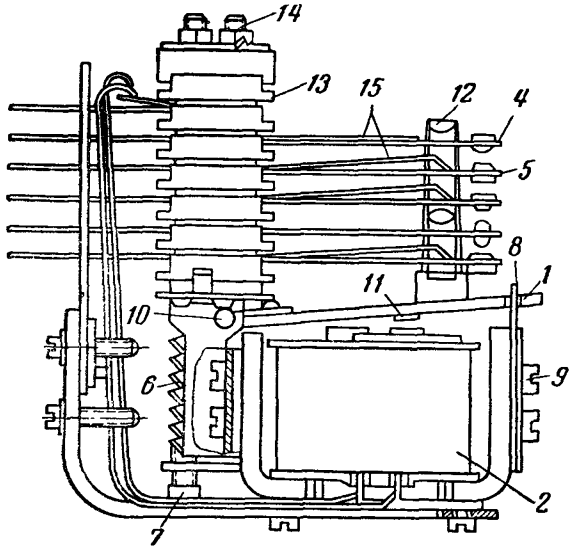


Рис 3-121. Устройство реле МКУ-48 и МКУ-48с. *1* — магнитопровод; *2* — обмотка; *3* — якорь; *4* — контакты подвижные; *5* — контакты неподвижные; *6* — возвратная пружина; *7*—регулировочный винт; *8* — упор; *9* — винт; *10* — ось; *11* — медная прокладка; *12* — рамка; *13* — изолирующие прокладки; *14* — винты; *15* — упорные пружины.

ные пластины. При сработанном положении якоря зазор в магнитопроводе осуществляется при помощи медной прокладки *11*.

Реле МКУ-48 и МКУ-48с выпускаются без кожуха

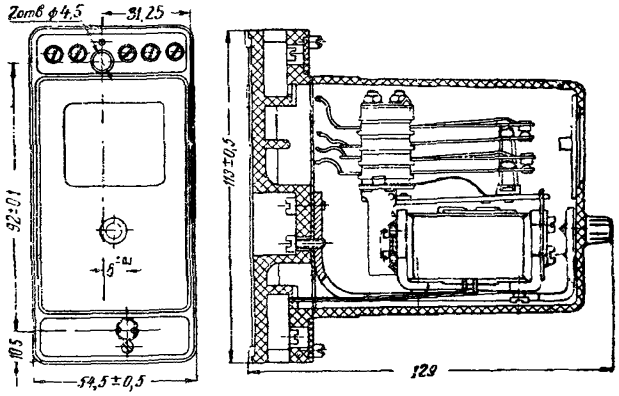


Рис. 3-122. Размеры реле МКУ-48 и МКУ-48с в кожухе.

и цоколя (рис. 3-121) и с пластмассовым кожухом и цоколем (рис. 3-122).

Установочные размеры для крепления реле без цоколя приведены на рис. 3-123.

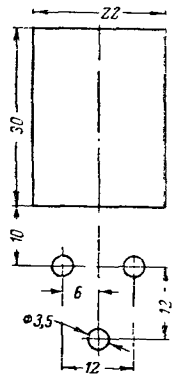


Рис. 3-123. Установочные размеры для крепления реле МКУ-48 и МКУ-48с без кожуха и цоколя.

Реле без кожуха и цоколя может иметь до 16 контактных пластин (МКУ-48) и до 8 пластин (МКУ-48с), а реле МКУ-48 и МКУ-48с с кожухом и цоколем могут иметь соответственно до 8 и до 4 контактных пружин.

Реле типа МКУ-48 выпускаются в исполнениях как реле напряжения, так и реле тока.

Таблица 3-94

Исполнения контактного набора реле МКУ-48 и МКУ-48с

Тип реле	№ п/п.	Количество контактов		
		замыкающих	размыкающих	переключающих
МКУ-48	1	2	—	—
	2	—	2	—
	3	—	—	2
	4	4	—	—
	5	—	4	—
	6	2	2	—
	7	2	—	2
	8	—	2	2
	9	4	2	—
	10	4	—	2
	11	6	—	—
	12	8	—	—
	13	2	2	2
	14	2	4	—
	15	6	2	—
МКУ-48с	1	2	—	—
	2	—	2	—
	3	—	—	2
	4	4	—	—
	5	—	4	—
	6	2	2	—
	7	2	—	2
	8	—	2	2

3-43. УСТРОЙСТВА БЛОКИРОВКИ ПРИ НЕИСПРАВНОСТЯХ ЦЕПЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ ТИПОВ КРБ-11 и КРБ-12

Применяются для блокировки защит, подверженных неправильному действию при неисправностях (обрывах) цепей напряжения.

Принцип действия устройств блокировки основан на появлении напряжения нулевой последовательности при обрыве одной или двух фаз цепей напряжения.

Таблица 3-95

Технические данные реле типа МКУ

Наименование параметра		МКУ-48	МКУ-48с
$U_{ном}$, *в*	постоянного тока	12, 24, 30, 48, 60, 110, 220	24, 48, 60, 85, 110, 220
	переменного тока	12, 24, 36, 60, 110, 127 220, 380	24, 110, 127, 220
$I_{ном}$ токовых реле, *а*	постоянного тока	0,2; 0,014	—
	переменного тока	2,2; 1,15; 0,75; 0,45; 0,4; 0,17	—
Реле могут применяться в среде с условиями:	Температура, °С	от +10 до —35	от —50 до +50
	Относительная влажность, %	60—75	95±3
$U_{ср}$, % $U_{ном}$		Не ниже 85	
Время термической устойчивости при 1,1 $U_{ном}$		Длительно	
$P_{потр}$ реле: постоянного тока, *вт*		3	
переменного тока, *ва*		7,5	5
$t_{ср}$ при $U_{ном}$, *сек*, для реле, имеющих: 8 контактных пружин		Не более 0,035	
16 контактных пружин		Не более 0,060	
Количество срабатываний допускаемых реле без изменения характеристик		1 000 000	100 000
$P_{конт.разр}$ при напряжении до 220 *в*: постоянного тока (индуктивность цепи не более 2 *гн*), *вт*		50	
переменного тока, *ва*		500	
$I_{длит}$ через замкнутые контакты, *а*		5	
Электрическая прочность изоляции токонедущих частей относительно корпуса при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		2 000	1 500

Таблица 3-96

Обмоточные данные реле МКУ-48 и МКУ-48с

Тип реле	Род тока	$U_{ном}$ ($I_{ном}$), *в* (*а*)	Обмоточные данные		
			r, *ом*	Число витков	Диаметр провода ПЭЛ, *мм*
МКУ-48 (реле напряжения)	Постоянный	12	85	2 100	0,21
		24	280	4 000	0,16
			320	4 000	0,15
			510	5 500	0,14
			1 200	8 000	0,11
		30	280	4 000	0,16
			345	4 300	0,15
		48	1 100	7 500	0,11
			1 200	8 000	0,11
			1 900	10 000	0,1
			4 600	15 500	0,08

Продолжение табл. 3-96

Тип реле	Род тока	$U_{ном}(I_{ном})$, *в (а)*	Обмоточные данные		
			r, ом	Число витков	Диаметр провода ПЭЛ, *мм*
МКУ-48 (реле напряжения)	Постоянный	60	1 900 2 300	10 000 10 000	0,1 0,09
		110	4 600 6 000	15 500 17 000	0,08 0,07
		220	20 000	27 000	0,05
МКУ-48 (реле тока)		0,2	23	1 200	0,31
		0,014	4 000	14 000	0,08
МКУ-48 (реле напряжения)	Переменный	12	7,3	650	0,41
		24	29	1 200	0,27
		36	85	2 100	0,21
		60	115	2 600	0,2
		110	181 610 650 900	3 100 5 800 6 000 7 000	0,13 0,13 0,13 0,12
		127	810 900 1 100	6 700 7 000 7 500	0,12 0,12 0,11
		220	1 900 2 600 2 700 4 600	10 000 11 600 12 000 15 500	0,1 0,09 0,09 0,08
		380	10 000 12 000	20 000 23 000	0,06 0,06
МКУ-48 (реле тока)		0,17	40	1 400	0,25
		0,4	40	1 400	0,25
		0,45	7	650	0,41
		0,75	0,86	255	0,74
		1,5	0,26	134	1,0
		2,2	0,125	94	1,2
МКУ-48с	Постоянный	24	320 510 650 1 200	4 000 5 500 6 000 8 000	0,15 0,14 0,13 0,11
		48	1 900 1 900 4 400	10 000 10 000 15 000	0,09 0,1 0,08
		60	2 300	10 000	0,09
		85	4 600	15 500	0,08
		110	6 000	17 000	0,07
		220	20 000	27 000	0,05

Продолжение табл. 3-96

Тип реле	Род тока	$U_{ном}(I_{ном})$, в (а)	Обмоточные данные		
			r, ом	Число витков	Диаметр провода ПЭЛ, мм
МКУ-48с	Переменный	24	29	1 200	0,17
		110	650	6 000	0,13
		127	900	7 000	0,12
		220	2 700	12 000	0,09

При повреждениях в цепях напряжения, не связанных с замыканием на землю (двухфазные к. з. без земли), устройство сработает только после сгорания предохранителя или отключения автомата в цепях напряжения. Поэтому суммарное время сгорания предохранителей в цепях напряжения и время срабатывания

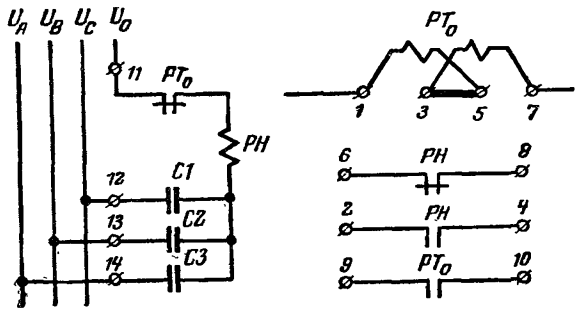


Рис. 3-124. Схема внутренних соединений устройства блокировки типа КРБ-11.

устройства должно быть меньше времени срабатывания защиты. По принципу действия блокировки не работают при одновременном перегорании предохранителей в трех фазах.

Устройство типа КРБ-11. Предназначено для применения в схемах защит сетей с большим током замыкания на землю. Состоит из фильтра напряжения нулевой последовательности, собранного из трех одинаковых конденсаторов *С1*, *С2*, *С3* (рис. 3-124), реле напряжения *РН* и токового реле $РТ_0$. Размыкающий контакт реле

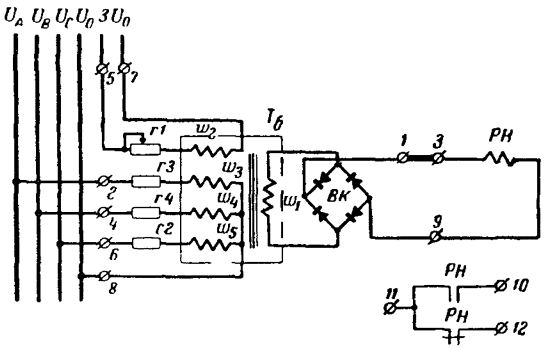


Рис. 3-125. Схема внутренних соединений устройства блокировки типа КРБ-12.

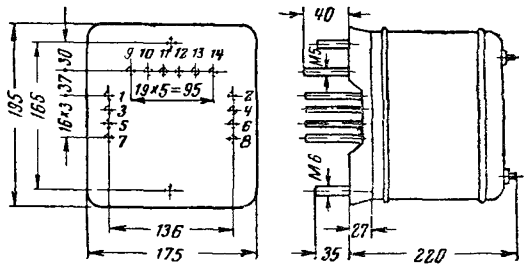


Рис. 3-126. Размеры устройства блокировки типов КРБ-11 и КРБ-12 (устройство КРБ-12 имеет не 6, а 4 горизонтальных колка (*9—12*), симметрично расположенных).

РН используется для блокировки защиты, а замыкающий — для целей сигнализации.

Реле $РТ_0$ предотвращает срабатывание реле *РН* при двухфазных к. з. на землю.

Все элементы блокировки смонтированы в одном кожухе, имеющем размеры, показанные на рис. 3-125.

Устройство типа КРБ-12 предназначено для применения в схемах защит сетей с малым током замыкания на землю. Устройство состоит из трансформатора $Т_б$, три обмотки которого через сопротивления *r2*, *r3* и *r4* включены на фазные напряжения, четвертая обмотка через сопротивление *r1* включена на напряжение $3U_0$ разомкнутого треугольника трансформатора напряжения. В цепь пятой обмотки через мост из купроксных выпрямителей включено поляризованное реле *РН*, размыкающий контакт которого осуществляет блокировку защиты, а замыкающий может быть использован для целей сигнализации. В симметричном режиме и при междуфазных к. з. (без земли) потоки взаимно уравновешиваются и в реле не подается напряжения. При замыканиях на землю результирующего потока также нет, так как поток, создаваемый фазными обмотками, компенсируется потоком от обмотки, включенной на напряжение $3U_0$.

Сумма потоков становится неравной нулю только при обрыве одной или двух фаз напряжения, что приводит к срабатыванию реле *РН*. Габаритные размеры блокировки даны на рис. 3-126.

3-44. УСТРОЙСТВА БЛОКИРОВКИ ПРИ КАЧАНИЯХ ТИПОВ КРБ-121 И КРБ-122

Применяется для блокировки защит, подверженных ложным действиям при качаниях в электрической системе.

Таблица 3-97

Технические данные блокировок типов КРБ-11, КРБ-12

Наименование параметра	КРБ-11	КРБ-12
$U_{ном}$ а) линейное, *в* б) фазное (для включения обмоток, w_3, w_4, w_5), *в* в) фазное, обмотки разомкнутого треугольника трансформатора напряжения для включения обмотки w_2, *в*	100 — —	— $\frac{100}{\sqrt{3}}$ $\frac{100}{3}$
$I_{ном}$, *а*	5 или 1	—
$U_{ср}$ реле *РН* при подведении напряжения непосредственно к обмоткам реле, *в*	6—12	—
$I_{ср}$ реле $РТ_0$, *а*: а) при $I_{ном} = 5$ *а* б) при $I_{ном} = 1$ *а*	0,15—0,6 0,05—0,2	— —
Чувствительность реле *РН* КРБ-12 при обрыве одной или двух фаз (при предварительно симметричном номинальном напряжении)	—	$\frac{I_р}{I_{ср}} \geqslant 4$
Величина тока небаланса в реле *РН* КРБ-12 при: симметричном напряжении $1{,}1U_{ном}$	—	$\frac{I_в}{I_р} \geqslant 2$
при симметричном напряжении $U_{ном} = 100$ *в* на обмотке $w_2(3U_0)$	—	$\frac{I_{ср}}{I_р} \geqslant 2$
$k_в$ не менее	—	0,45
Зазор между контактами не менее, *мм*	—	0,4
$P_{потр}$ в цепях напряжения при $U_{ном}$, *ва* на фазу	5	4
Термическая устойчивость при $1{,}1U_{ном}$ в нормальном режиме, а также при обрыве одной или двух фаз	Длительно	
$t_{ср}$ при обрыве одной фазы (при $U_{ном}$-предварительном напряжении) не более, *сек*	—	0,01
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*) при напряжении до 220 *в* и токе до 1,5 *а*, *вт*	40	
Изоляция токоведущих деталей выдерживает относительно металлических частей при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	1 750	
Вес устройства, *кг*	4	4,7

Таблица 3-98

Параметры элементов блокировок типов КРБ-11, КРБ-12

Тип блокировки	Наименование и обозначение элемента	Технические данные	
КРБ-11	Конденсаторы C_1, C_2, C_3	4 *мкф*. каждый, $U_{раб} = 400$ *в*, тип МБГП, ГОСТ 7112-54	
	Реле токовое $РТ_0$	$I_{ном} = 1$ *а*	$I_{ном} = 5$ *а*
		$w = 2\times500$, ПЭЛ-0,38; ЭТ-523/0,2	$w = 2\times166$, ПБД-0,64; ЭТ-523/0,6
	Реле напряжения *РН*	$w = 2\times3\,100$, ПЭЛ-0,21, реле серии ЭН-520	

Продолжение табл. 3-98

Тип блокировки	Наименование и обозначение элемента	Технические данные
КРБ-12	Трансформатор $T_б$	$w_1 = 2\,700$, ПЭЛ-0,21 $w_2 = w_3 = w_4 = w_5 = 750$, ПЭЛ-0,27
	Сопротивления *r2, r3, r4*	ПЭ-20-1 000 *ом*, ГОСТ 6513-53
	Выпрямитель купроксный *ВК*	ВК—20—6
	Реле поляризованное *РН* типа РП-7	$w = w_{вн} + w_н = (8\,800 + 4\,200) = 13\,000$, ПЭЛ-0,1
	Сопротивление *r1*	$r = r_{пост} + r_{рег}$ $r_{пост} = 500$ *ом*, ПЭ-20 $r_{рег} = 130$ *ом* (максимум)

Устройство при возникновении к. з. запускается и вводит в действие защиту на время, достаточное для ее срабатывания.

При возникновении качаний, не сопровождающихся к. з., устройство не пускается.

КРБ-121. Пусковой орган устройства поляризованное реле *РН* (рис. 3-127), реагирующий на величину, пропорциональную $U_2 + kI_0$, обеспечивает работу устройства при всех видах несимметричных к. з.

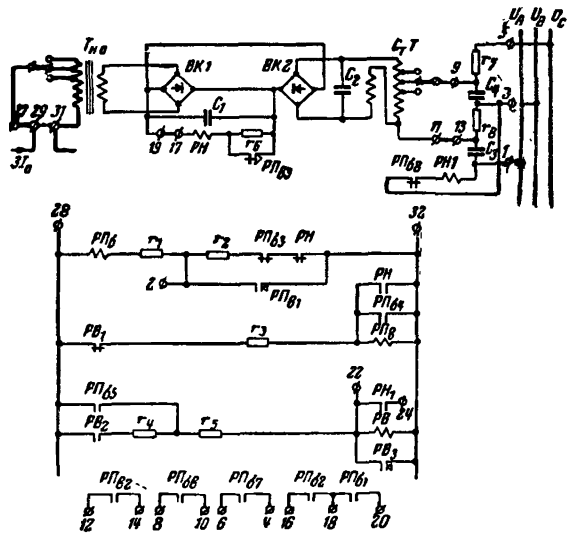


Рис. 3-127. Схема устройства блокировки при качаниях типа КРБ-121 (на схему оперативных цепей подан постоянный ток).

Кратковременное появление несимметрии при трехфазных к. з. обеспечивает также запуск устройства и при симметричных к. з.

Составляющая напряжения обратной последовательности подается на реле *РН* с выхода фильтра (*r7, r8, C3, C4*) через стабилизирующий трансформатор $C_тT$ и купроксный выпрямитель *ВК2*.

Составляющая тока нулевой последовательности kI_0 может подаваться на реле *РН* параллельно через насыщающийся трансформатор $T_{н0}$ и купроксный выпрямитель *ВК1* для повышения чувствительности. Введение составляющей kI_0 осуществляется установкой перемычки *27—29* в токовой цепи.

Чувствительность пускового органа регулируется изменением числа витков на трансформаторах $C_тT$ и $T_{н0}$.

Трансформаторы $C_тT$ и $T_{н0}$ ограничивают величину напряжения на выпрямителях и обмотке реле *РН* при больших значениях U_2 и kI_0. Конденсатор *C2* ограничивает высшие гармоники на выходе фильтра.

Конденсатор *C1* фильтрует переменную составляющую в выпрямленном токе и улучшает работу контактов реле *РН*.

Для повышения низкого коэффициента возврата реле *РН* (порядка 0,4) предусмотрено сопротивление *r6*, нормально зашунтированное контактом $РП_{в3}$. При запуске устройства *r6* вводится последовательно с обмоткой реле *РН* и повышает его коэффициент возврата до 0,8—0,85. Схема работает следующим образом. При размыкании контакта реле *РН* в цепи обмотки реле $РП_б$, которое нормально удерживается через контакт *РН* и свой контакт $РП_{б3}$, последнее отпадает. При этом замыкаются контакты $РП_{б1}$, $РП_{б2}$, $РП_{б6}$, $РП_{б7}$ и вводят в действие блокируемые цепи защиты на время, определяемое временем отпадания замедленного реле $РП_в$. Реле $РП_в$, отпав, подает контактом $РП_{в1}$ напряжение на обмотку реле $РП_б$, и оно своими контактами выводит цепи защиты из работы. Реле $РП_б$ остается под напряжением и не управляется контактом пускового реле *РН* до тех пор, пока не замкнется контакт *РВ1* реле времени *РВ*.

Возврат схемы в исходное положение может происходить либо с заданной выдержкой времени (после замыкания контакта $РВ_3$), либо немедленно после ликвидации нарушения от контакта реле минимального напряжения *РН1*.

Для повышения чувствительности реле *РН1* при удаленных трехфазных к. з. в его цепь включен контакт $РП_{б8}$, кратковременно размыкающийся при каждом пуске устройства, а для предотвращения преждевременной деблокировки после возврата реле *РН1* (при двухфазных к. з. на других фазах) обмотка реле $РП_в$ шунтируется контактом реле *РН*.

Для выравнивания времени отпадания реле $РП_в$ при симметричных и несимметричных к. з. параллельно обмотке реле включен контакт $РП_{б4}$.

КРБ-122. Пусковой орган устройства блокировки реле *РН* имеет рабочую *Р* и тормозную *Т* обмотки (рис. 3-128).

Рабочая обмотка *Р* через выпрямители *В2* и *В3* и трансформаторы $ТН_2$ и $ТН_0$ включена соответственно на ток I_2 фильтра ФТОП и ток $3I_0$. ФТОП состоит из трансформатора с воздушным зазором ТПФ, трансформатора *ТК* и сопротивления *r*.

Тормозная обмотка *Т* реле *РН* через трансформатор $ТН_т$ и выпрямитель *В1* включена встречно рабочей обмотке на ток одной из фаз.

Чувствительность пускового органа регулируется отпайкамн на трансформаторах $ТН_2$ (по току I_2) и $ТН_0$ (по току $3I_0$). Характеристика чувствительности (при отсутствии торможения) приведена на рис. 3-129.

Применение торможения предотвращает запуск устройства блокировки от токов небаланса при больших токах качаний. В то же время пусковой орган загрубляется при к. з. на фазе, в которую включен трансформатор $ТН_т$. Степень загрубления характеризуется коэффициентом торможения.

$$k_т = \frac{I_{2ср} - I_{20ср.мин}}{I_ф} \cdot 100\%,$$

где $k_т$ — коэффициент торможения, взятый из табл. 3-99;

$I_{20ср.мин}$ — ток срабатывания пускового органа при отсутствии торможения и минимальной уставке пускового органа;

$I_{2ср}$ — то же при протекании тормозного тока $I_ф$ через трансформатор $ТН_т$. Токи $I_{20ср.мин}$ и $I_{2ср}$ должны быть взяты в амперах обратной последовательности, а ток $I_ф$ — в амперах на фазу.

Степень отстройки пускового органа от токов небаланса при качаниях может быть определена следующим образом.

Например, известно, что при токе качания $I_ф = 10 \cdot I_н = 50$ *а* ток небаланса на выходе фильтра не превышает $I_{нб} \leqslant I_{2ср.мин} = 5 \cdot 0{,}5 = 2{,}5$ *а*. Определяется ток срабатывания пускового органа с учетом торможения (блокировка с $I_н = 5$ *а*; на ней установлены: минимальный ток срабатывания, равный $I_{20ср.мин} = 0{,}5$ *а*, и коэффициент торможения $k_т = 10\%$):

$$I_{2ср} = \frac{k_т I_ф}{100} + I_{20.ср.мин} = \frac{10 \cdot 50}{100} + 0{,}5 = 5{,}5 \text{ а}.$$

Коэффициент отстройки от токов небаланса равен:

$$k_о = \frac{I_{2ср}}{I_{нб}} = \frac{5{,}5}{2{,}5} = 2{,}2.$$

Аналогично при $k_т = 5\%$ имеем:

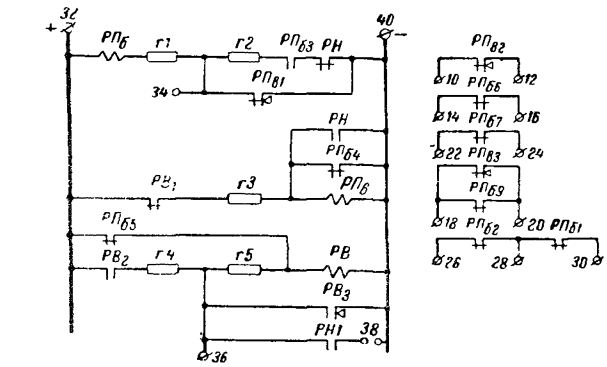
$$I_{2ср} = \frac{5 \cdot 50}{100} + 0{,}5 = 3 \text{ а}, \quad k_о = \frac{3}{2{,}5} = 1{,}2.$$

При уставке срабатывания пускового органа большей, чем $I_{20.ср.мин} = 0{,}5$ *а*, коэффициент торможения должен быть увеличен в такой же мере (табл. 3-99). Это дает повышение коэффициента отстройки.

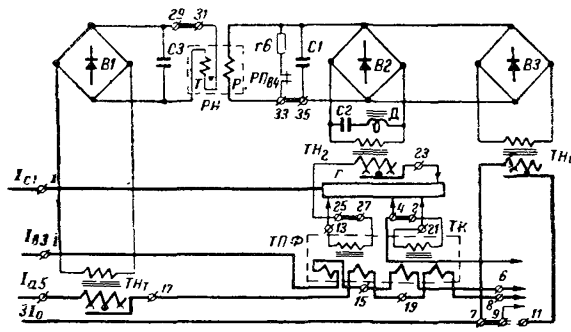
Коэффициент торможения изменяется отпайками на трансформаторе $ТН_т$.

Дроссель *Д* и конденсатор *С2* в цепи $ТН_2$ составляют фильтр высших гармоник (близкой к пятой) и исключают их влияние на работу реле *РН*. Конденсатор *С1* сглаживает выпрямленный ток.

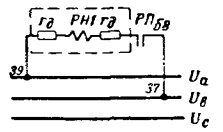
Шунтирование рабочей обмотки реле *РН* сопротивлением *г6* (после замыкания контакта $РП_{в4}$) увеличивает коэффициент возврата реле *РН* в полной схеме блокировки (на входе ФТОП).



а)



б)



в)

Рис. 3-128. Схема блокировки от качания типа КРБ-122.
а — цепи постоянного тока; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи переменного напряжения.

Назначение реле и работа схемы постоянного тока блокировки типа КРБ-122 аналогичны блокировке типа КРБ-121.

Все элементы блокировок типов КРБ-121 и КРБ-122 смонтированы в одном кожухе, имеющем размеры реле КРС-121. Технические данные устройств блокировок и их элементов приведены в табл. 3-99 и 3-100.

3-45. ДИСТАНЦИОННЫЕ ЗАЩИТЫ ТИПОВ ПЗ-157 И ПЗ-158

Применяются в качестве основной или резервной защиты от междуфазных к. з. высоковольтных линий электропередач в сети с большим током замыкания на землю.

Защиты ПЗ-157 и ПЗ-158 представляют собой направленные трехфазные трехступенчатые дистанционные защиты с независимой выдержкой времени в каждой ступени.

Защиты имеют блокировки: ПЗ-157 — при качаниях типа КРБ-121 и при повреждениях в цепях напряжения КРБ-11; ПЗ-158 — при качаниях типа КРБ-122. Выходные цепи защиты рассчитаны для действия на один или два выключателя.

Схемы защит предусматривают возможность ускорения действия второй и третьей зон после АПВ.

Защиты смонтированы на стальной панели (рис. 3-130), ее основные органы выполнены в групповых кожухах, где размещены все реле и вспомогательные устройства, входящие в схему данного органа.

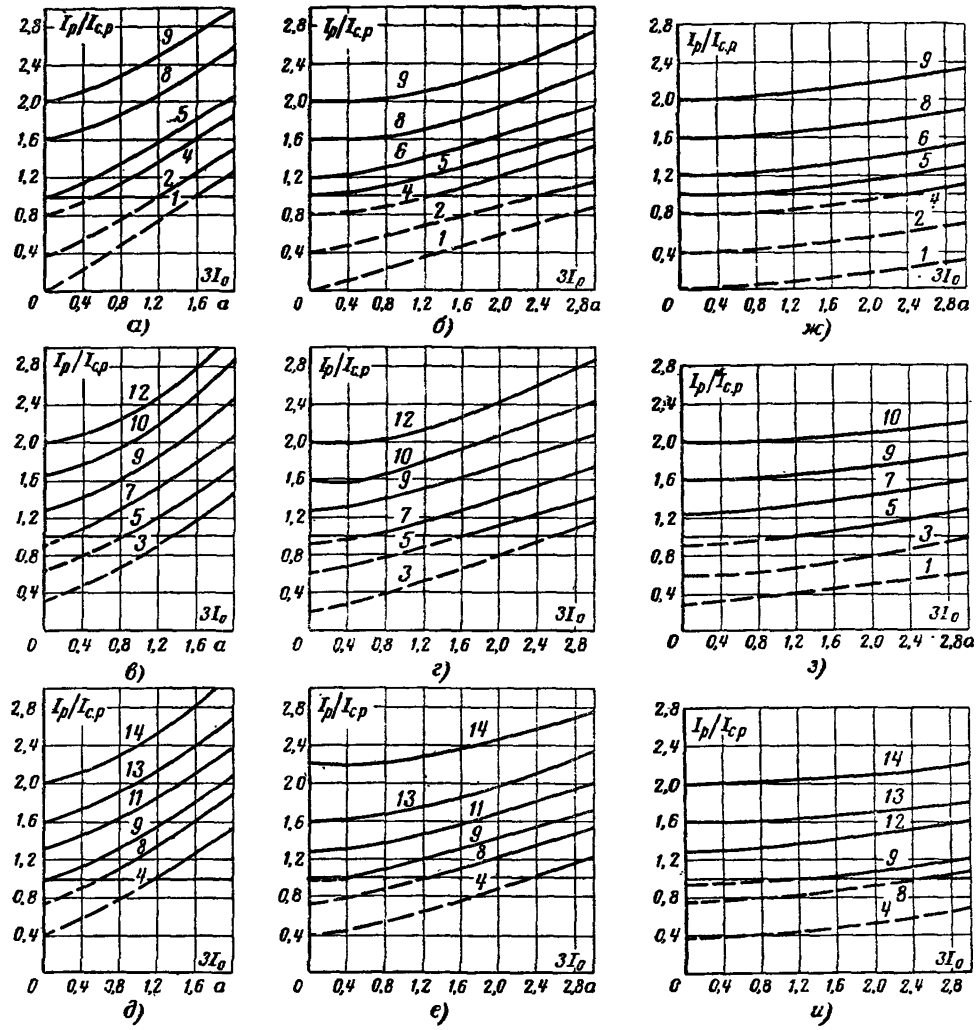


Рис. 3-129. Характеристика чувствительности пускового органа устройства КРБ-122.

Для удобства чтения все уставки по токам нулевой и обратной последовательностей, а также величины тока обратной последовательности, для которых построены кривые *1—14*, данные на рис. 3-129, *а—и*, приведены ниже.

Для рисунков			*а*	*б*		*в*	*г*	*д*	*е*		*ж*	*з*		*и*
Уставки:														
TH_0, *а*			1	1,5		1	1,5	1	1,5		2	2		2
TH_2, *а*			0,5	0,5		0,75	0,75	1	1		0,5	0,75		1
Кривые	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*
I_2, *а* (кроме 3-129,з)	0	0,2	0,25	0,4	0,5	0,6	0,75	0,8	1	1,25	1,3	1,5	1,6	2
I_2, *а* (для 3-129,з)	0,25	—	0,5	—	0,75	—	1,0	—	1,25	1,5	—	—	—	—

На схемах защит ПЗ-157 (рис. 3-131) и ПЗ-158 (рис. 3-132) первая цифра в обозначении указывает номер реле, в кожухе которого находится данный элемент, буквы — сокращенное название элемента, а последние цифры означают номер данного элемента в кожухе.

Пусковой орган защиты, которым являются направленные реле сопротивления *1РС*, *2РС*, *3РС* типа КРС-132, выполняет следующие функции:

а) управляет переключениями дистанционных органов с уставок первой на уставки второй зон защиты; б) осуществляет третью зону защиты; в) осуществляет фиксацию действия дистанционных органов при к. з. во второй зоне в случаях, когда такая фиксация допустима.

В качестве дистанционных органов первой и второй зон использованы: реле *4РС* — многофазное компенсационное реле типа КРС-121 для действия при несимметричных многофазных к. з. и реле *5РС* — направленное реле сопротивления типа КРС-131 для действия при симметричных к. з.

При отсутствии повреждения они включены на уставки первой зоны и переключаются на уставки второй зоны контактами реле $16РП_п$ в защите ПЗ-157 (соответственно реле $17РП_п$ в защите ПЗ-158) через время, достаточное для срабатывания защиты при повреждениях в первой зоне.

Таблица 3-99

Технические данные блокировок типов КРБ-121, КРБ-122

Наименование параметра		КРБ-121		КРБ-122	
		$I_{ном}=5$ *а*	$I_{ном}=1$ *а*	$I_{ном}=5$ *а*	$I_{ном}=1$ *а*
$I_{ном}$ (переменный ток), *а*		5	1	5	1
$U_{ном}$ постоянного тока, *в*		110 или 220			
$P_{потр}$ в нормальном режиме	в цепях переменного напряжения при 100 *в*, *ва* не более	25		8	
	в цепях переменного тока, *ва* на фазу	—		Не более 7	
	в цепях постоянного напряжения, *вт*	Не более 10			
Чувствительность пускового реле *РН*	По напряжению обратной последовательности U_2 на входе фильтра (с точностью ±10%), *в* фазных	2,3 и 4		—	
	По току обратной последовательности на входе фильтра (с точностью ±10%), *а* фазных	—		0,5; 0,75 и 1	0,1; 0,15 и 0,2
	По току $3I_0$ (для КРБ-122 при средней уставке по току I_2 и питании фаза—нуль), *а*	1; 1,5 и 2 (с точностью ±15%)	0,2; 0,3 и 4 (с точностью ±10%)	1; 1,5 и 2 (с точностью ±10%)	0,2; 0,3 и 0,4 (с точностью ±10%)
$k_т$ пускового реле при минимальной уставке по току I_2 (с увеличением уставки по I_2 $k_т$ пропорционально увеличивается), %		—		$5^{+0,5}_{-1}$; $7,5^{+0,6}_{-0,8}$ и 10 ± 1	
Значение тока небаланса $I_{нб}$ в рабочей обмотке реле *РН* при симметричном токе $10I_{ном}$ и минимальной уставке по току I_2 (при больших уставках I_2 ток $I_{нб}$ пропорционально меньше)		—		$I_{нб} \leqslant 5I_{2(0)ср.мин}$	
Четкая работа устройства блокировки обеспечивается при напряжении постоянного тока, $\%U_{ном}$		75			
Термическая устойчивость реле и аппаратов в нормальном режиме, а также при обрыве одной из фаз при $1{,}1U_{ном}$ переменного и постоянного напряжения		Длительно			
$k_в$ реле *РН*: в схеме устройства отдельного реле		0,7—0,9 0,4			
Время возврата реле $РП_б$ (замыкание размыкающегося контакта) в полной схеме устройства, *сек* не более		0,008			
Зазор между контактами реле *РН*, *мм*		Не менее 0,4			
Время возврата реле $РП_в$, определяющее время ввода защиты в работу блокирующими контактами реле $РП_б$, *сек*		0,35—0,42			

Продолжение табл. 3-99

Наименование параметра	КРБ-121		КРБ-122	
	$I_{ном}=5$ *а*	$I_{ном}=1$ *а*	$I_{ном}=5$ *а*	$I_{ном}=1$ *а*
Наибольшая выдержка времени реле времени *РВ*, *сек*	9			
Электрическая прочность изоляции всех цепей устройства по отношению к корпусу при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	1 750			
Разрывная мощность блокирующих контактов реле $РП_6$ в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой ($T=5\cdot10^{-3}$ *сек*) при U до 220 *в* и токе до 0,5 *а*, *вт*	25			

Таблица 3-100

Технические данные элементов блокировок типов КРБ-121, КРБ-122

Элементы блокировки	Основные технические данные элементов			
	КРБ-121		КРБ-122	
	110 *в*	220 *в*	110 *в*	220 *в*
Насыщающийся трансформатор $Т_{но}$	$I_{ном}=1$ *а*	$w_1=63$ ПБД 1,0, отпайки от 31-го и 43-го витков	$I_{ном}=1$ *а*	$w_1=50$, ПБД 1,0, отпайки от 10-го и 25-го витков
		$w_2=5\,000$, ПЭЛ-0,2		$w_2=5\,000$, ПЭЛ-0,2
	$I_{ном}=5$ *а*	$w_1=13$, ПБД 1,35, отпайки от 6-го и 8-го витков	$I_{ном}=5$ *а*	$w_1=10$, ПБД-1,25, отпайки от 2-го и 5-го витков
		$w_2=5\,000$, ПЭЛ-0,2		$w_2=5\,000$, ПЭЛ-0,2
Стабилизирующий трансформатор *СтТ*	$w_1=1\,980$, ПЭЛ-0,21, отпайки от 370-го, 920-го и 1 130-го витков		—	
	$w_2=3\,500$, ПЭЛ-0,21			
Трансформатор *ТПФ*	—		$I_{ном}=1$ *а*	$w_1=w_2=60$, ПЭВ2-0,93
				$w_3=165$, ПЭВ2-0,74
			$I_{ном}=5$ *а*	$w_1=w_2=12$, ПБД-1,68
				$w_3=33$, ПБД-1,68
Трансформатор *ТК*	—		$I_{ном}=1$ *а*	$w_1=w_2=160$, ПЭВ2-0,93
				$w_3=160$, ПЭВ2-0,74
			$I_{ном}=5$ *а*	$w_1=w_2=32$, ПБД-1,81
				$w_3=32$, ПБД-1,81
Насыщающийся трансформатор $ТН_Т$	—		$I_{ном}=1$ *а*	$w_1=35$, ПБД-1,25
				$w_2=5\,000$, ПЭЛ-0,2
			$I_{ном}=5$ *а*	$w_1=7$, ПБД-1,56
				$w_2=5\,000$, ПЭЛ-0,2

Продолжение табл. 3-100

Элементы блокировки			Основные технические данные элементов			
			КРБ-121		КРБ-122	
			110 *в*	220 *в*	110 *в*	220 *в*
Насыщающийся трансформатор TH_2			—		$I_{ном} = 1$ *а*	$w_1 = 275$, ПБД-0,86 $w_2 = 5\,000$, ПЭЛ-0,2
					$I_{ном} = 5$ *а*	$w_1 = 55$, ПБД-1,25 $w_2 = 5\,000$, ПЭЛ-0,2
Реле *РН* (поляризованное реле типа РП-7)			Внутренняя — $w_1 = 8\,800$ ПЭЛ-0,1, $r = 730$ *ом* Наружная — $w_2 = 4\,200$, ПЭЛ-0,1, $r = 600$ *ом*. Обмотки соединяются последовательно		Рабочая (внутренняя) $w_р = 8\,800$, ПЭЛ-0,1 $r = 730$ *ом* Тормозная (наружная) $w_т = 4\,200$, ПЭЛ-0,1 $r = 600$ *ом*	
Выпрямители			Купроксные *ВК1* и *ВК2* типа ВК-20-6		Диоды германиевые *В1*, *В2*, *В3* типов Д7Ж—ТР3, 215.108.Вр.ТУ	
Конденсаторы			*С1* и *С2* 1 *мкф*, $U_{раб} = 200$ *в*, тип МБГП, ГОСТ 7112-54		*С1* 2 *мкф*, $U_{раб} = 160$ *в*	
Конденсаторы			*С3* и *С4* 2×4 *мкф* каждый, $U_{раб} = 400$ *в*, тип МБГП, ГОСТ 7112-54		*С2* 0,5 *мкф*, $U_{раб} = 200$ *в* *С3* 10 *мкф*, $U_{раб} = 160$ *в*	
Реле напряжения *РН1* (реле типа ЭН-529/160)			Внутренняя $w_1 = 1\,285$, ПЭЛ 0,08 Наружная $w_2 = 1\,885$, константан 0,15 на каждой катушке, катушки соединены параллельно		$w = 4\,200$, ПЭВ2-0,14 последовательно с каждой обмоткой включено сопротивление 6,8 *ком*	
Реле $РП_б$ (типа КДР-1)			$w = 20\,000$, ПЭЛ-0,12, $r = 2\,000$ *ом*		$w = 20\,000$, $r = 2\,000$ *ом* ПЭЛ-0,12	
Реле $РП_в$ (типа КДР-3)			$w = 20\,000$, ПЭЛ-0,12, $r = 2\,000$ *ом*	$w = 37\,000$, ПЭЛ-0,08 $R = 9\,000$ *ом*	$w = 20\,000$, ПЭЛ-0,12 $r = 2\,000$ *ом*	$w = 37\,000$, ПЭЛ-0,08 $R = 9\,000$ *ом*
Реле времени *РВ* (типа ЭВ-134)			$w = 4\,250$, ПЭЛ-0,31	$w = 9\,800$, ПЭЛ-0,2	$w = 9\,800$, ПЭЛ 0,2	$w = 18\,900$, ПЭЛ 0,14
Сопротивления	*r1* и *r2*	ПЭ-20 ГОСТ 6513-53	1 000 *ом*	4 000 *ом*	1 000 *ом*	4 000 *ом*
	r3		2 000 *ом*	8 000 *ом*	1 000 *ом*	4 000 *ом*
	r4		500 *ом*	2 000 *ом*	800 *ом*	3 000 *ом*
	r5		100 *ом*	500 *ом*	800 *ом*	3 000 *ом*
	r6		2 000 — 4 000 *ом*		1 000—1 500 *ом*	
	r7		Нерегулируемое 200 *ом*, ПЭ-50, ГОСТ 6513-53 Регулируемое 130 *ом*, константан $d = 0{,}25$, ГОСТ 5307-50, соединены последовательно		—	
	r8		Нерегулируемое 600 *ом*, ПЭ-50, ГОСТ 6513-53 Регулируемое 240 *ом*, константан $d = 0{,}2$, ГОСТ 5307-50, соединены последовательно		—	
	r				$I_{ном} = 1$ *а*	11,8 *ом*
					$I_{ном} = 5$ *а*	0,45 *ом*

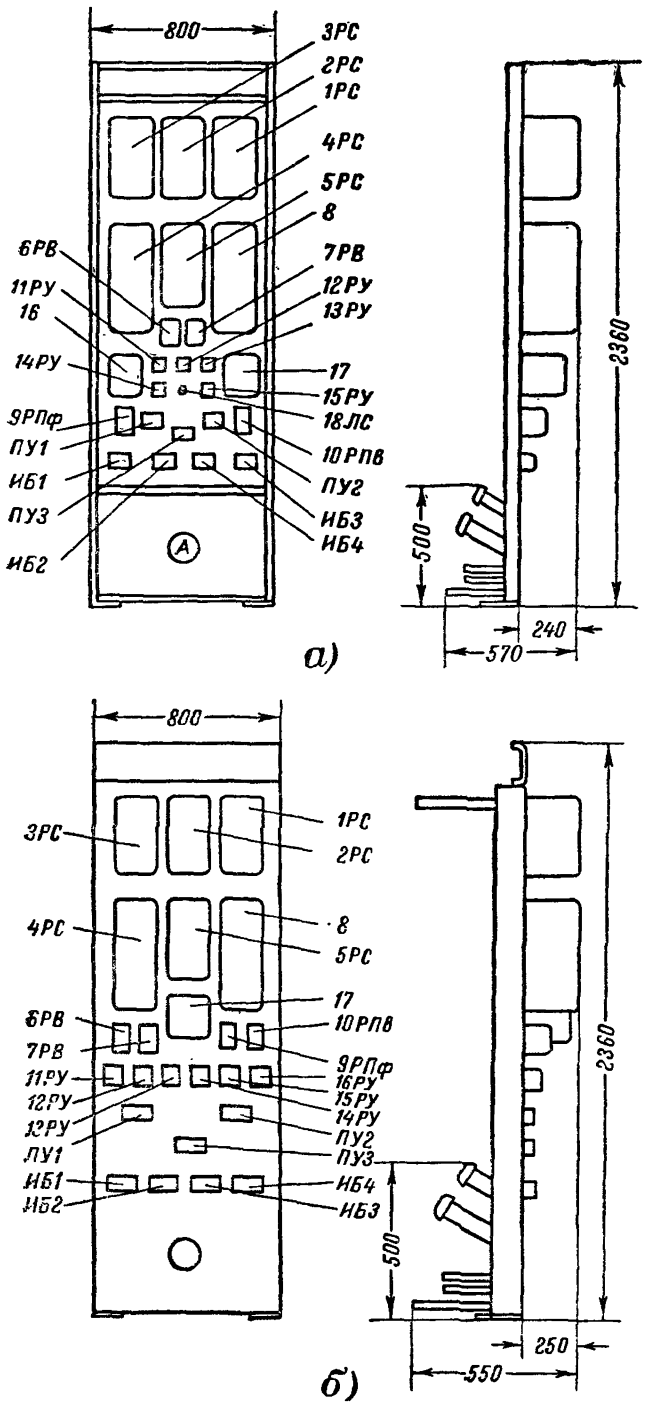


Рис. 3-130. Общий вид, размеры и расположение элементов панелей дистанционных защит.
а — ПЗ-157; *б* — ПЗ-158.

Реле $16РП_п$ ($17РП_п$), переключающее зоны, имеет замедление на отпадание, которое может быть увеличено включением сопротивления *16r2* (*17r*) в параллельную обмотку. Кроме параллельной обмотки реле имеет последовательную обмотку в цепи первой зоны. Последнее позволяет не учитывать время работы выходного реле *10РПВ*.

Цепи постоянного тока защиты ПЗ-157 контролируются размыкающим контактом *17РН* устройства блокировки защиты при повреждениях в цепях напряжения, а защиты ПЗ-158 — контактами $8РП_{б6}$ и $8РП_{в2}$ блокировки от качаний типа КРБ-122.

Реле $9РП_ф$, кроме размножения контактов реле *4РС*, обеспечивает фиксацию одновременного замыкания контактов реле *5РС* и $8РП_{б1}$ (контактом $9РП_{ф2}$ в защите ПЗ-157 и $9РП_{ф1}$ в ПЗ-158) и осуществляет контактом $9РП_{ф2}$ мгновенный замер во второй зоне.

Защита имеет отдельные реле времени для второй зоны — *6РВ* с запуском от дистанционных органов и для третьей зоны — *7РВ* с запуском от пусковых органов.

Сопротивление *16r1* предотвращает сброс выдержки времени на реле *6РВ* при переходе двухфазного к. з. в трехфазное (если мгновенный замер не используется). В защите ПЗ-158 для этой цели реле $9РП_ф$ имеет замедление на возврат.

Под блокировку от качаний могут быть заведены цепи первой и второй зон реле *5РС* (действующего при симметричных к. з.) и первой зоны реле *4РС* (действующего при несимметричных к. з.). Блокировка второй зоны реле *4РС* не предусмотрена.

Осуществление различных вариантов блокировки при качаниях выполняется контактами реле $8РП_б$: $8РП_{б1}$ (включенного между зажимами *16* и *18* в защите ПЗ-157 и *30* и *28* в ПЗ-158) и $8РП_{б2}$ (между зажимами *18* и *20* в защите ПЗ-157 и *28* и *25* в ПЗ-158) в схеме оперативных цепей защиты при установке перемычек в соответствии с табл. 3-101.

Таблица 3-101

Варианты блокировки I и II зон защит ПЗ-157, ПЗ-158

Перемычки установлены между зажимами		Блокируются цепи защиты при		
		симметричных к. з.		несимметричных к. з.
ПЗ-157	ПЗ-158	I зона	II зона	I зона
Не установлены		Да	Да	Да
133—149	*131—143*	Да	Да	Нет
143—149	—	Нет	Да	Да
145—149	*151—139*	Да	Нет	Да
133—145—149	*151—131—139*	Да	Нет	Нет
133—143—149	—	Нет	Нет	Нет
133—143	—	Да	Нет	Да

Реле $16РП_у$ ($17РП_у$) предусмотрено для ускорения защиты после АПВ. Реле имеет задержку на возврат порядка 0,25 *сек*, контакты реле $16РП_{у2}$, ($17РП_{у2}$). $16РП_{у1}$ ($17РП_{у1}$) и $16РП_{у3}$ ($17РП_{у3}$) шунтируют соответственно контакты реле времени *6РВ* и *7РВ* и обмотку реле времени *8РВ* блокировки при качаниях, производя быструю деблокировку схемы. Каждый из этих контактов по желанию может быть включен в работу отдельной перемычкой.

Выходное реле *10РПВ* имеет замедление при срабатывании, вводимое в защите ПЗ-157 только при замыканиях на землю, т. е. при работе разрядников, замыканием контакта $17РТ_{01}$ в цепи демпферной обмотки реле *10РПВ*. Наличие размыкающего контакта реле *10РПВ* в этой цепи устраняет замедление реле на возврат. Сигнальные реле установлены во всех трех зонах защиты и

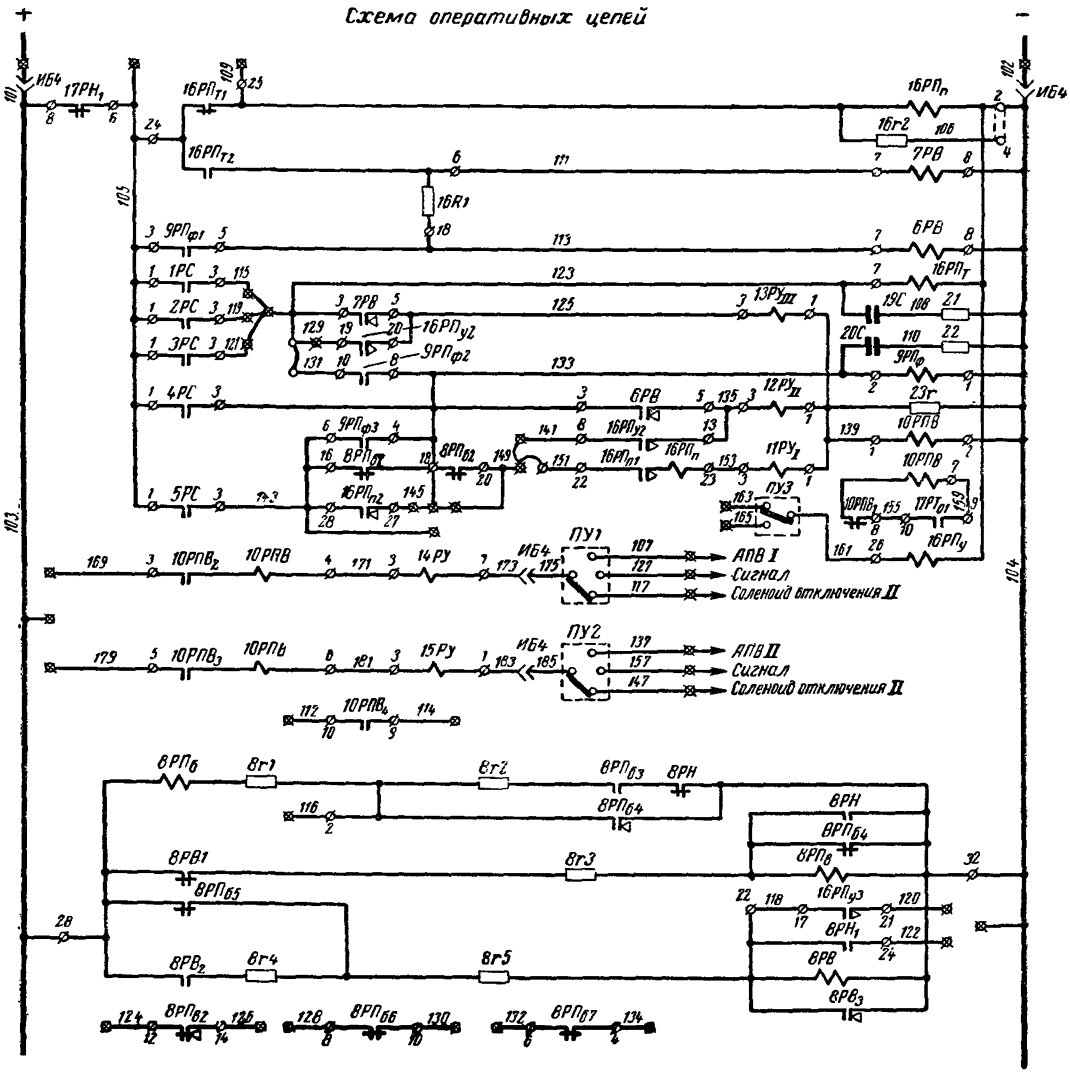
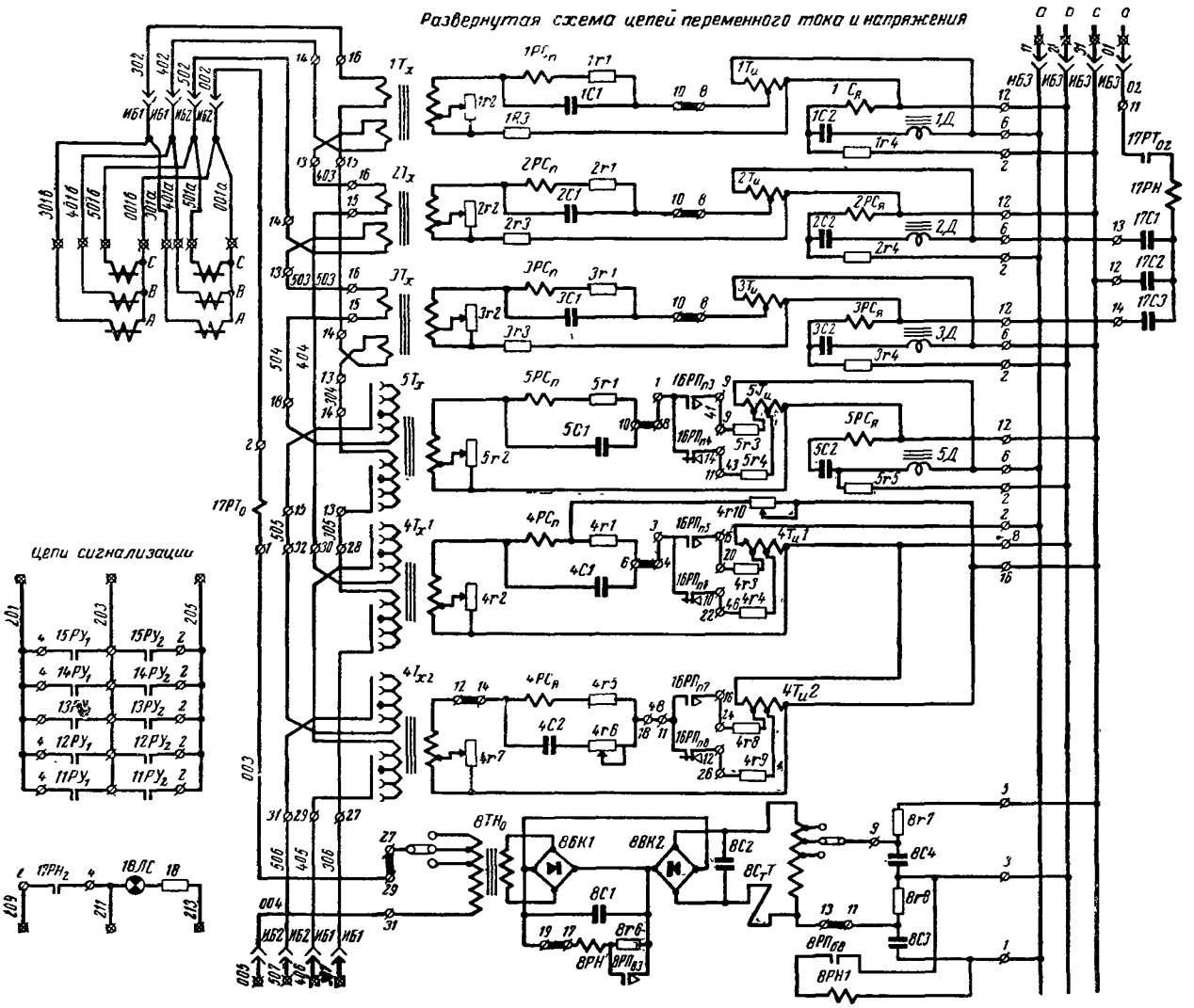
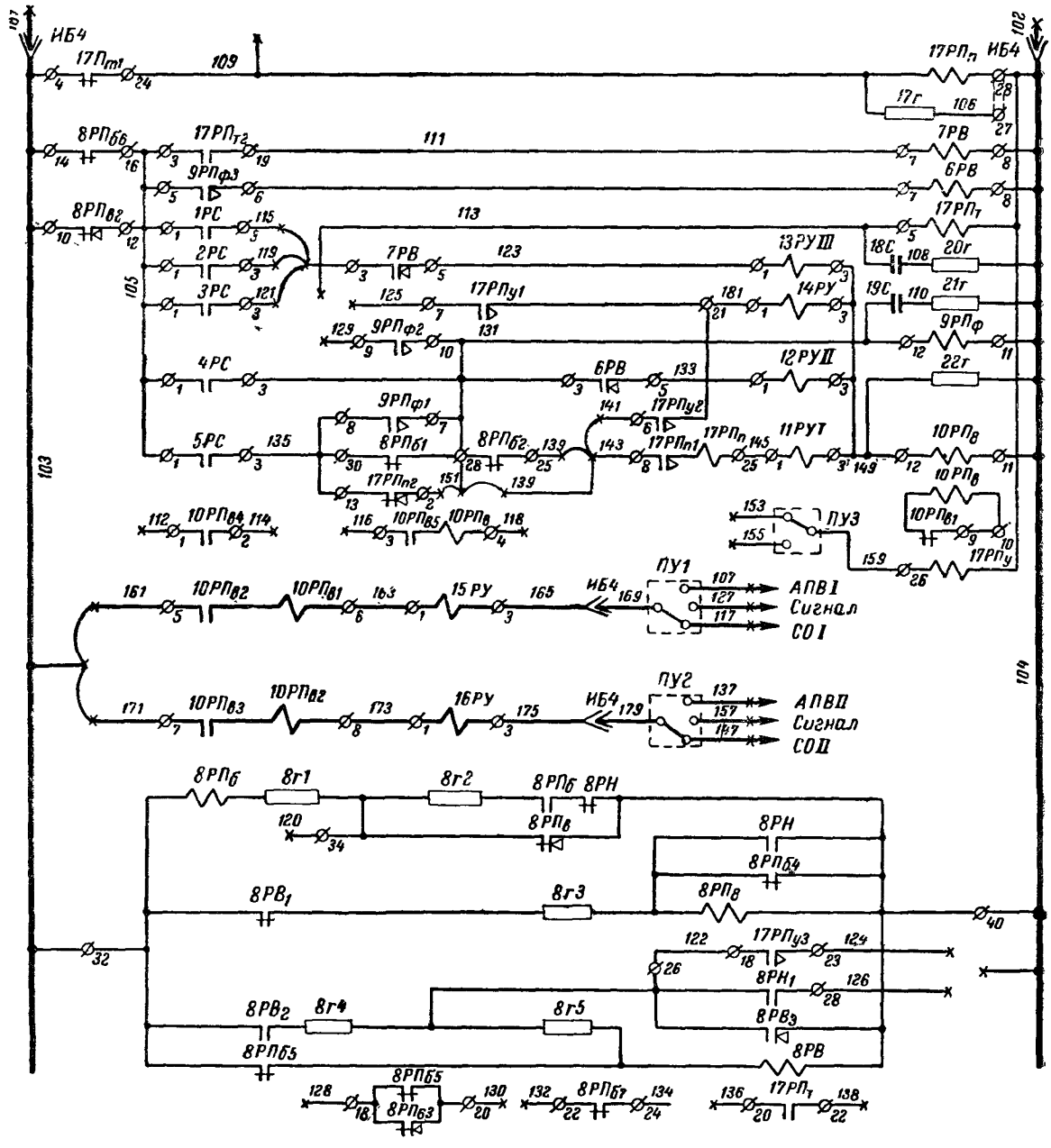


Рис. 3-131. Развернутая схема защиты типа ПЗ-157 (значком * обозначены цепи, выведенные на

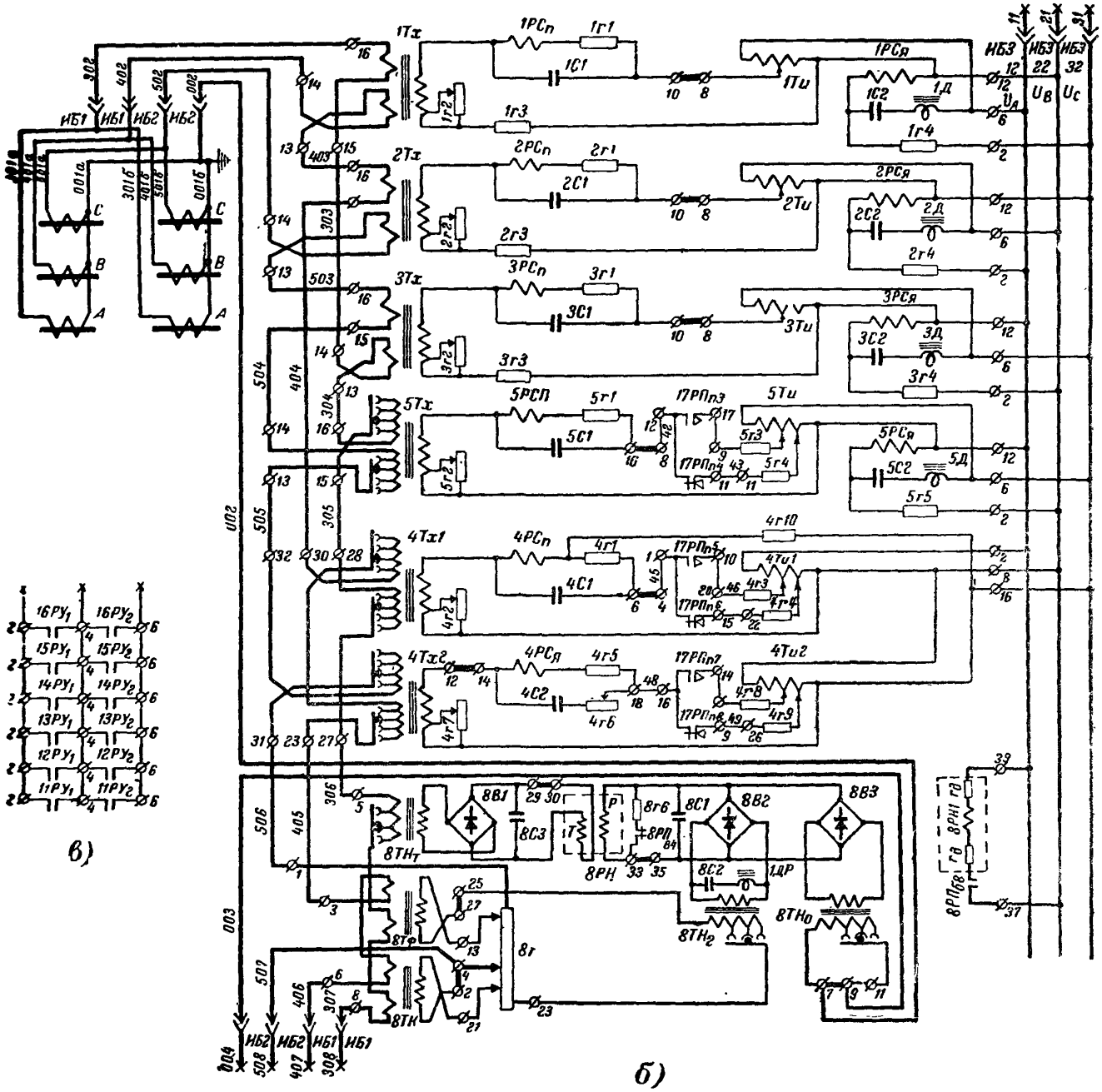


зажимный ряд панели; положение реле соответствует отсутствию постоянного тока на панели).



а)

Рис. 3-132. Схема дистан
а — цепи постоянного тока; б — цепи переменного
Положение контактов указано для обесточенного состояния реле.



ционной защиты типа ПЗ-158.
тока и напряжения; *в* — цепи сигнализации.
Значком * обозначены цепи, выведенные на зажимный ряд панели.

Таблица 3-102

Технические данные защит ПЗ-157, ПЗ-158

Наименование параметра			ПЗ-157	ПЗ-158
$U_{ном}$, *в*	переменного тока		100	
	постоянного тока		110 или 220	
$I_{ном}$, *а*			5 или 1	
$f_{ном}$, *гц*			50	
$P_{потр}$ в нормальном режиме цепей: переменного тока при $I_{ном}$, *ва* на фазу			14	20
переменного напряжения при $U_{ном}$, *ва* на фазу			Не более 80	Не более 55
постоянного тока, *вт*			„ „ 15	„ „ 18
Термическая устойчивость в нормальном режиме при подведении 110% номинальных величин переменного и постоянного тока			Длительно	
Сопротивление изоляции всех независимых цепей переменного и постоянного тока относительно корпуса и между собой в обесточенном состоянии панели при температуре от —5 до +35° С и относительной влажности не более 90% не менее, *Мом*			5	
Электрическая прочность изоляции всех цепей панели по отношению к корпусу панели при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*			1 750	
$z_{ср}$ по дистанционным ступеням, *ом*, на фазу, для:				
$I_{ном} = 5$ *а*		I	0,25—10	
		II	0,25—20	
		III	2—20	
$I_{ном} = 1$ *а*		I	1,25—50	
		II	1,25—100	
		III	10—100	
$\varphi_{м.ч}$ в пусковых и дистанционных реле в заводской регулировке: нормально			65±4°	
по специальному заказу			75±3°	
При к. з. в I зоне обеспечивается 10%-ная точность работы дистанционных органов для токов в диапазонах ($I_{ном}$=5 *а*), *а* (при $I_{ном}$=1 *а* токи уменьшаются в 5 раз)	Возврат реле *16РП*$_п$ (*17РП*$_п$)	Уставки на *Тх*		
	0,25 *сек*	0,25	5,2—140 (*4РС*) 10—140 (*5РС*)	
		0,5	2,6—100 (*4РС*) 5—100 (*5РС*)	
		1,0	1,3—60 (*4РС*) 2,5—60 (*5РС*)	
		2,0	0,65—30 (*4РС*) 1,3—30 (*5РС*)	
	0,12 *сек*	0,25	8—140 (*4РС*) 16—140 (*5РС*)	
		0,5	4—100 (*4РС*) 8—100 (*5РС*)	
		1,0	2—60 (*4РС*) 4—60 (*5РС*)	
		2,0	1—30 (*4РС*) 2—30 (*5РС*)	

Продолжение табл. 3-102

Наименование параметра			ПЗ-157	ПЗ-158
Защита надежно работает при трехфазных к. з. в *мертвой зоне* у шин подстанции, если для реле *5РС*:			$I_{к.з} \geqslant 2I_{точн}$	
Чувствительность блокировки от качаний	По фазиому напряжению обратной последовательности на входе фильтра ФНОП, *в*		2, 3 или 4	—
	По току 3 I_0, *а*	$I_{ном} = 5$ *а* $I_{ном} = 1$ *а*	1; 1,5; 2 0,2; 0,3; 0,4	
	По фазному току обратной последовательности на входе фильтра ФТОП, *а*	$I_{ном} = 5$ *а* $I_{ном} = 1$ *а*	— —	0,5; 0,75; 1 0,1; 0,15, 0,2
$k_т$ от полного тока фазы пускового органа блокировки от качаний (при минимальной уставке по току I_2 на фильтре ФТОП), %			—	5; 7,5; 10
Пределы $t_{ср}$, *сек*, для: II зоны III зоны			0,25—3,5 0,5—9	
Время возврата реле *16РП*$_п$ (*17РП*$_н$) (замыкание размыкающего контакта), *сек*		*16г2* отключено *16г2* включено	0,12 0,22—0,28	
Время возврата реле *16РП*$_у$, (*17РП*$_у$)			0,25	
$t_{ср}$ реле *10РПВ*, *сек*	Демпферная обмотка разомкнута Демпферная обмотка замкнута		0,045 0,065—0,075	
Реле *10РП*$_в$ имеет $I_{ном}$ удерживающих обмоток, *а*			1, 2 или 4	
$P_{потр}$ каждой удерживающей обмотки реле *10РП*$_в$ при $I_{ном}$, *вт*			1	
$t_{ср}$ защиты при $z \leqslant 0{,}7z_{ср}$ $I \geqslant 2I_{точн}$ и разомкнутой демпферной обмотке реле *10РПВ*, *сек*			Не более 0,125	
Вес панели, *кг*			200	

Таблица 3-103

Назначение перемычек в защитах ПЗ-157, ПЗ-158

Наименование перемычек		Назначение перемычек
ПЗ-157	ПЗ-158	
115—123 *119—123* *121—123*	*115—113* *119—113* *121—113*	Использование в схеме пусковых реле без каких-либо внешних размножающих реле
123—129	*113—125*	Ускорение третьей зоны после АПВ
149—141	*141—143*	Ускорение второй зоны после АПВ
149—151	*139—143*	Использование в схеме первой зоны защиты
123—131	*113—129*	Фиксация мгновенного замера второй зоны от пусковых реле
122—104	*126—104*	Быстрая деблокировка схемы блокировки от качаний после ликвидации короткого замыкания
120—104	*124—104*	Быстрая деблокировка схемы блокировки от качаний после АПВ

в выходных цепях, а в защите ПЗ-158 и в цепях ускорения (*14РУ*). Назначение остальных перемычек в схеме защиты дано в табл. 3-103.

3-46. ПРИСТАВКА ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКИ ТИПА ПВБ-158

Приставка типа ПВБ-158 применяется при выполнении дистанционной защиты типа ПЗ-158 и токовой защиты от замыканий на землю с высокочастотной блокировкой. При этом обеспечивается быстрое отключение повреждений на защищаемой линии.

Приставка типа ПВБ-158 состоит из двух поляризованных реле *ПР1* и *ПР2* и сопротивления *r* (рис. 3-133).

Тормозные обмотки реле *ПР1* и *ПР2* включены на ток приемника высокочастотного аппарата, а рабочие обмотки включаются на номинальное напряжение при срабатывании пусковых органов защиты (контактами реле *17РП*$_т$ или *РВ6*).

Запуск ВЧА защиты при возникновении к. з. производится контактами реле *8РП*$_б$ и *8РП*$_в$ устройства блокировки при качаниях защиты ПЗ-158. При этом в тормозных обмотках *ПР1*$_т$ и *ПР2*$_т$ начинает проходить ток, который препятствует срабатыванию реле *ПР1*

Таблица 3-104

Основные технические данные реле и элементов защиты ПЗ-157 (ПЗ-158)

Наименование и обозначение по схеме		Тип	Технические данные	
			$U_{ном} = 110$ *в*	$U_{ном} = 220$ *в*
Реле сопротивления	*1РС* *2РС* *3РС*	КРС-132	Указаны в соответствующей информации (§ 3-38)	
	4РС *5РС*	КРС-121 КРС-131		
Реле времени	*6РВ* *7РВ*	ЭВ-124 ЭВ-134	$w = 9\,800$ ПЭЛ-0,2 $r = 450$ *ом*	$w = 18\,900$ ПЭЛ-0,14 $r = 1\,750$ *ом*
Блокировка при качаниях *8*		КРБ-121 (ПЗ-157) КРБ-122 (ПЗ-158)	Указаны в соответствующей информации (§ 3-44)	
Реле $9РП_ф$		РП-23 (ПЗ-157)	$w = 21\,000$, ПЭВ1-0,12 $r = 2\,750$ *ом*	$w = 35\,000$ ПЭВ1-0,09 $r = 8\,500$ *ом*
		ЭП-103А (ПЗ-157)	$w = 17\,500$ ПЭЛ-0,14 $r = 1\,900$ *ом*	$w = 40\,000$ ПЭЛ-0,09 $r = 10\,000$ *ом*
		РП-252 (ПЗ-158)	$w = 12\,500$ ПЭВ2-0,11 $r = 1\,800$ *ом*	$w = 25\,000$ ПЭВ2-0,08 $r = 7\,200$ *ом*
Реле выходное *10РПВ*		РП-253 (ПЗ-157 и ПЗ-158)	Демпферная $w_1 = 14000$, ПЭВ-2/0,41	
			Рабочая w_2	
			$w_2 = 5\,500$ ПЭВ2-0,1 $r = 1\,100$ *ом*	$w_2 = 11\,000$ ПЭВ2-0,07 $r = 4\,400$ *ом*
			Удерживающие w_3 и w_4	
			$I_{ном} = 1$ *а* $I_{ном} = 2$ *а* $I_{ном} = 4$ *а*	$w = 100$, ПЭВ2-0,8 $w = 50$, ПЭВ2-0,93 $w = 25$, ПЭВ2-1,0
		ЭП-133 (ПЗ-157)	Демпферная $w_1 = 1\,100$, ПЭЛ-0,44 $r = 9$ *ом*	
			Рабочая w_2	
			$w'_2 = 8\,800$ ПЭВ1-0,14 $r = 1\,240$ *ом* $w''_2 = 70$, ПШДК-0,15 $r = 330$ *ом*	$w'_2 = 17\,500$ ПЭВ1-0,1 $r = 4\,500$ *ом* $w''_2 = 400$, ПШДК-0,15 $r = 1\,780$ *ом*
		ЭП-133	Удерживающие w_3 и w_4	
			$I_{ном} = 1$ *а*, $w = 240$, $I_{ном} = 2$ *а*, $w = 120$, $I_{ном} = 4$ *а*, $w = 60$	ПЭЛ-0,38, $r = 3,2$ *ом* ПЭЛ-0,55, $r = 0,84$ *ом* ПЭЛ-0,88, $r = 0,2$ *ом*
Реле сигнальные:	*11РУ* *12РУ* *13РУ* *(14РУ)*	ЭС-21	$w = 3\,600$, ПЭЛ-025, $r = 70$ *ом*	$w = 7\,200$, ПЭЛ-0,17 $r = 320$ *ом*

Продолжение табл. 3-104

Наименование и обозначение по схеме		Тип	Технические данные	
			$U_{ном} = 110$ *в*	$U_{ном} = 220$ *в*
Комплект реле *16(17)*	*14РУ* *15РУ* *(16РУ)*	ЭС-21	$I_{ном} = 0{,}5$ *а* $w = 360$, ПЭЛ-0,8 $r = 0{,}7$ *ом* $I_{ном} = 1$ *а* $w = 180$, ПЭЛ-1,0 $r = 0{,}2$ *ом*	
	16РП$_п$ *(17РП*$_п$*)*	КДР-3М	Удерживающая w_1	
			$w = 1\,100$, ПЭЛ-0,2 $r = 30$ *ом*	$w_1 = 2\,200$, ПЭЛ-0,15 $r = 110$ *ом*
			Рабочая w_2	
			$w_2 = 27\,000$, ПЭЛ-0,09 $r = 5\,000$ *ом*	$w_2 = 44\,000$, ПЭЛ-0,07 $r = 14\,500$ *ом*
	16РП$_т$ *(17РП*$_т$*)*	КДР-3М	$w = 20\,000$, ПЭЛ-0,12 $r = 2\,000$ *ом*	$w = 37\,000$, ПЭЛ-0,08 $r = 9\,000$ *ом*
	16РП$_у$ *(17РП*$_у$*)*	КДР-3М	$w = 37\,000$, ПЭЛ-0,08 $r = 9\,000$ *ом*	$w = 55\,000$, ПЭЛ-0,07 $r = 17\,000$ *ом*
	16r1 *16r2(17r)*	типа ПЭ ГОСТ 6513-53	$r = 1\,500$ *ом* $r = 2\,000$ *ом*	$r = 6\,000$—$6\,500$ *ом* $r = 8\,000$ *ом*
Блокировка при обрыве фаз напряжения *17* (ПЗ-157)		КРБ-11	Указаны в соответствующей информации (§ 3-43)	
Сигнальная лампа (ПЗ-157)	*18ЛС*	ЛС-53	$U_{раб} = 24$ *в*	
	18r	ПЭ, ГОСТ 6513-53	$r = 800$ *ом*	$r = 2\,000$ *ом*
Конденсаторы *19С* и *20С* (*18С* и *19С*)		КБГ-МП ГОСТ 6118-52	$C = 0{,}5$ *мкф*	$U_{раб} = 200$ *в*
Сопротивления	*21r (20r)* *22r (21r)*	ПЭ, ГОСТ 6513-53	$r = 500$ *ом*	
	23r (22r)		$r = 3\,000$ *ом*	$r = 8\,000$ *ом*
Блоки испытательные ИБ1—ИБ4		БИ-4	$I_{ном} = 5$ *а*	$U_{ном} = 220$ *в*

Таблица 3-105

Аппараты, входящие в каждую панель защиты типов ПЗ-157, ПЗ-158

Наименование и обозначения по схеме	Тип	Количество
Реле сопротивления пусковые *1РС, 2РС, 3РС*	КРС-132	3
Реле сопротивления дистанционное *4РС*	КРС-121	1
Реле сопротивления дистанционное *5РС*	КРС-131	1
Реле времени *6РВ*	ЭВ-124	1
Реле времени *7РВ*	ЭВ-134	1

и *ПР2* даже при наличии напряжения на рабочих обмотках этих реле. Останов ВЧА выполняется контактами реле *17РП*$_т$ защиты ПЗ-158 или мгновенным контактом реле времени *РВ6*.

При одновременном действии дистанционной защиты и защиты от замыканий на землю отдается предпочтение защите от замыканий на землю, для чего цепь контакта реле *17РП*$_т$ размыкается контактом токового реле *РТ3*.

При внешнем к. з. один из передатчиков ВЧА не останавливается, и, следовательно, его ток принимают приемники на обоих концах линии и реле *ПР1* и *ПР2* блокируют защиту.

При к. з. на защищаемой линии останавливаются передатчики на обоих концах, срабатывают реле *ПР1* и *ПР2* и в зависимости от вида повреждения обеспе-

Продолжение табл. 3-105.

Наименование и обозначения по схеме	Тип	Количество
Устройство блокировки при качаниях *8*	КРБ-121 (ПЗ-157)	1
	КРБ-122 (ПЗ-158)	1
Реле промежуточное $9РП_ф$	РП-252 (ПЗ-158)	1
	РП-23 (ЭП-103А) (ПЗ-157)	1
Реле выходное промежуточное *10РПВ*	РП-253 (ЭП-133)	1
Реле сигнальные *11РУ, 12РУ, 13РУ* (*14РУ*—ПЗ-158)	ЭС-21	3 (4)
Реле сигнальные *14РУ, 15РУ,* (*16РУ*—ПЗ-158)	ЭС-21	2
Комплект реле *16* (ПЗ-157) и *17* (ПЗ-158)	—	1
Устройство блокировки при обрыве фаз напряжения *17* (ПЗ-157)	КРБ-11	1
Лампа сигнальная *18ЛС* (*18r*) (ПЗ-157)	ЛС-53	1
Трехпозиционный переключатель *ПУ1, ПУ2*	—	2
Двухпозиционный переключатель *ПУ3*	—	1
Блоки испытательные *ИБ1—ИБ4*	БИ-4	4
Конденсаторы *19С, 20С* (*18С, 19С*—ПЗ-158)	КБГ-МП 0,5 *мкф*	2
Сопротивления *21r, 22r, 23r* (*20r, 21r, 22r*—ПЗ-158)	ПЭ	3

чивают действие без выдержки времени третьей ступени защиты от замыканий на землю (контактом реле *ПР2*) или действие реле $17РП_у$ ускорения второй или третьей зоны защиты ПЗ-158 (контактом реле *ПР1*).

Для обеспечения согласования пуска ВЧА и действия на отключение цепь запуска реле $17РП_у$ контролируется контактами реле $8РП_б$. Ускорение второй зоны защиты ПЗ-158 от высокочастотной блокировки осуществляется до времени 0,2—0,35 *сек* (время реле $17РП_п$), ускорение третьей зоны обеспечивает быстродействие защиты.

Все элементы приставки смонтированы в одном кожухе, размеры которого даны на рис. 3-134. Технические данные приставки приведены в табл. 3-106.

3-47. ДИСТАНЦИОННЫЕ ЗАЩИТЫ ТИПОВ ПЗ-152 И ПЗ-153

ПЗ-152 и ПЗ-153 применяются для защиты высоковольтных линий электропередач в сетях с большими (ПЗ-152) и малыми (ПЗ-152, ПЗ-153) токами замыкания на землю.

Защиты типов ПЗ-152 и ПЗ-153 являются трехступенчатыми направленными дистанционными защитами. Защита ПЗ-152 имеет токовые пусковые органы и две дистанционные (I и II) и одну (III) токовую направленную ступени.

Защита ПЗ-153 имеет три дистанционные ступени. В защите предусмотрена блокировка при повреждениях в цепях напряжения типа КРБ-12. Пусковыми органами защиты являются ненаправленные реле полного сопротивления типа КРС-112.

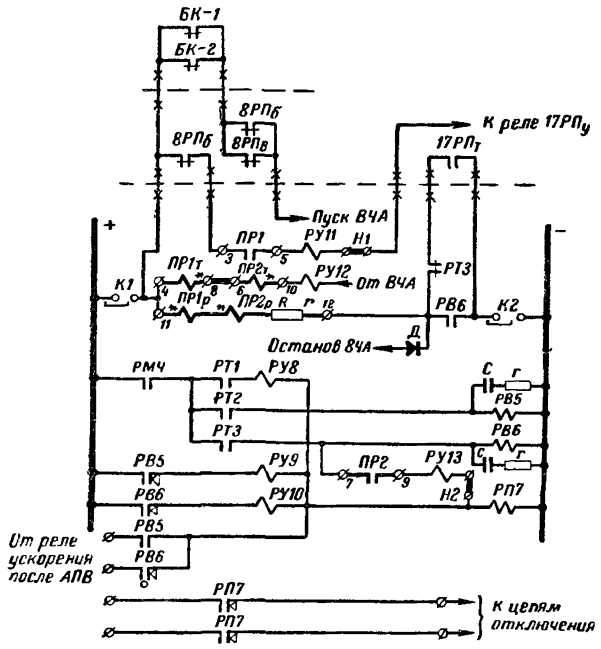


Рис. 3-133. Схема включения приставки типа ПВБ-158 в цепи дистанционной защиты типа ПЗ-158 и токовой защиты от замыканий на землю.

РТ1, РТ2, РТ3, РМ4, РВ5, РВ6, РП7 РУ8, РУ9, РУ10 — реле защиты от замыканий на землю; *РП1, ПР2* — элементы приставки типа ПВБ-158; *РУ11, РУ12, РУ13*, дополнительные сигнальные реле; $8РП_б$, $8РП_в$ и $17РП_т$ — контакты реле дистанционной защиты ПЗ-158 (в обесточенном состоянии); *БК-1, БК-2* — контакты блок-шайб в цепях линейных выключателей. Значком * — обозначены цепи, выведенные на зажимный ряд панели.

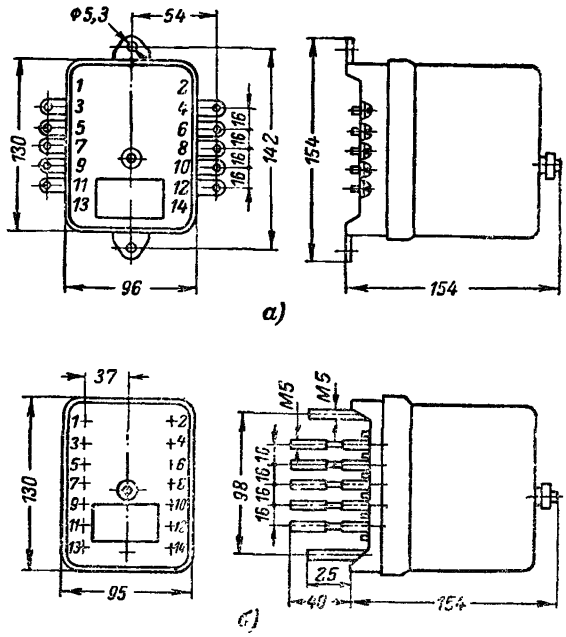


Рис. 3-134. Размеры приставки типа ПВБ-158.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Таблица 3-106

Технические данные приставки типа ПВБ-158

Наименование параметра	110 *в*	220 *в*
$U_{ном}$ постоянного, тока *в*	110 или 220	
Отношение $F_{ном}$ к $F_{ср}$ в рабочих обмотках при $U_{ном}$ и отсутствии тока в тормозных обмотках не менее	2	
Отношение $F_т$ к $F_р$ при токе от в. ч. а. равном 0,015 *а*	Не менее 1,8	
r последовательно соединенных тормозных обмоток реле *ПР1*$_т$ и *ПР2*$_т$, *ом*	1 450	
$P_{конт. разр}$ замыкающих контактов реле *ПР1* и *ПР2* при индуктивной нагрузке ($T=5\cdot10^{-3}$ *сек*) при напряжении до 220 *в* и токе до 1 *а*, *вт*	Не менее 30	
$k_в$ реле *ПР1* и *ПР2*	Не менее 0,35	
Зазор между контактами реле, *мм*	0,4	
$P_{потр}$ цепи рабочих обмоток реле *ПР1* и *ПР2* (с сопротивлением *r*) при $U_{ном}$, *вт*	2	3,5
Электрическая прочность изоляции всех токоведущих деталей относительно корпуса при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000	
Вес приставки, *кг*	1	
Обмоточные данные реле *ПР1* и *ПР2* (реле типа РП-7)	$w_{раб}$=4 200, ПЭЛ-0,1 *r*=600 *ом* (наружная) $w_т$=8 800, ПЭЛ-0,1 *r*=730 *ом* (внутренняя)	
Сопротивление *r* типа ПЭ-20, ГОСТ 6513-53	*r*=3×2 500 *ом* *r*=7 500 *ом*	*r*=3×5 000 *ом* *r*=15 000 *ом*

Защиты ПЗ-152 и ПЗ-153 не снабжены блокировкой при качаниях. При необходимости может быть подключено дополнительно устройство типа КРБ-121.

Защиты ПЗ-152 и ПЗ-153 имеют для первой и второй зон один дистанционный орган — реле типа КРС-111, реагирующий на все виды повреждений.

Трансреакторы реле КРС-111 *Тх1* и *Тх2* (рис. 3-135, 3-136) включены через промежуточные трансформаторы тока ($4Т_{т1}$, $4Т_{т2}$, $4Т_{т3}$ на рис. 3-135 и соответственно $6Т_{т1}$, $6Т_{т2}$, $6Т_{т3}$ на рис. 3-136) для снижения тока (в 25 раз) и облегчения работы контактов переключательных реле. При замыканиях на землю в дистанционный орган подается ток компенсации kI_0 от автотрансформатора тока ($4АТ_т$ на рис. 3-135 и $6АТ_т$ на рис. 3-136).

Автотрансформатор тока имеет регулировку коэффициента трансформации для изменения компенсации.

Действие защиты ПЗ-152 при различных видах повреждений представлено в табл. 3-107 и защиты ПЗ-153 — в табл. 3-108.

Схема автотрансформатора дана на рис. 3-137, а значения коэффициента трансформации приведены в табл. 3-108.

Переключение дистанционного органа на различные фазы тока и напряжения осуществляется контактами реле *4РП1, 4РП2, 4РП3, (6РП1, 6РП2, 6РП3)*, а переключение уставок с первой зоны на вторую — контактами реле *4РП4* (*6РП4*). Переключательные контакты этих реле в цепях тока выполнены мостящими, т. е. без разрыва цепи.

Контакт реле *4РП5* (*6РП5*) в токовых цепях служит для замедления подачи тока в дистанционный орган по сравнению с напряжением.

Для предотвращения кратковременного срабатывания (клевка) реле *5РС* при переключениях уставок с первой зоны на вторую на момент переключения цепи тока (первичные обмотки трансреакторов) шунтируются мостящим контактом $4РП4_3$ ($6РП4_3$).

Реле направления мощности включены по 90-градусной схеме.

Для обеспечения термической устойчивости цепей напряжения реле *5РС* в схему введены контакт $4РП2_5$ ($6РП2_5$) и сопротивление *4r2* (*6r2*), через которые к реле *5РС* в нормальном режиме подводится пониженное напряжение.

Конденсатор *4С* (*6С*) предотвращает клевки реле *5РС* при переключениях уставки с первой зоны на вторую контактами реле *4РП4* (*6РП4*).

Реле *4РП4* (*6РП4*) имеет последовательную обмотку в цепи первой зоны защиты, что снижает время переключения на уставку второй зоны до 0,15 *сек*.

Это время может изменяться от 0,15 до 0,25—0,38 *сек* путем включения параллельно обмотке реле *4РП4* (*6РП4*) сопротивления *4r1* (*6r1*).

Реле *10РП* осуществляет фиксацию действия дистанционного органа от пусковых органов при установке перемычки *135—143* (*145—149*).

Контакт блокировки от качаний может быть включен в зажимы *139—143* (*151—149*), в этом случае будет блокироваться первая и вторая зоны защиты, а при включении контакта $4РП4_1$ ($6РП4_1$) перемычкой *139—141* (*151—153*) вторая зона выводится из-под блокировки.

Выходное реле *11РП* имеет, кроме основной и двух последовательных обмоток, рассчитанных для действия на два выключателя, еще демпферную обмотку, которая может быть включена закорачиванием зажимов *7* и *8*. Реле при этом обеспечивает отстройку защиты от работы разрядников.

Выдержка времени второй зоны защиты осуществляется реле *12РВ*, а третьей — *13РВ*.

Защита имеет сигнальные реле в цепи первой зоны *15РУ* (*14РУ*), второй *16РУ* (*15РУ*), третьей *17РУ* (*16РУ*), а также в цепях отключения выключателей *18РУ* и *19РУ*. Замыкания, связанные с землей, фиксируются реле *14РУ* (*17РУ*). Наряду с общими элементами схемы защит ПЗ-152 и ПЗ-153 имеют некоторые особенности.

Особенности защиты ПЗ-152

В защите предусмотрена возможность включать реле *2РМ* и *7РТ* на ток фазы *В* (при использовании защиты в сетях с большими токами замыкания на землю) установкой в токовых цепях перемычки *004—505*. В этом случае защита одинаково реагирует на замыкания между любыми фазами с землей и без земли.

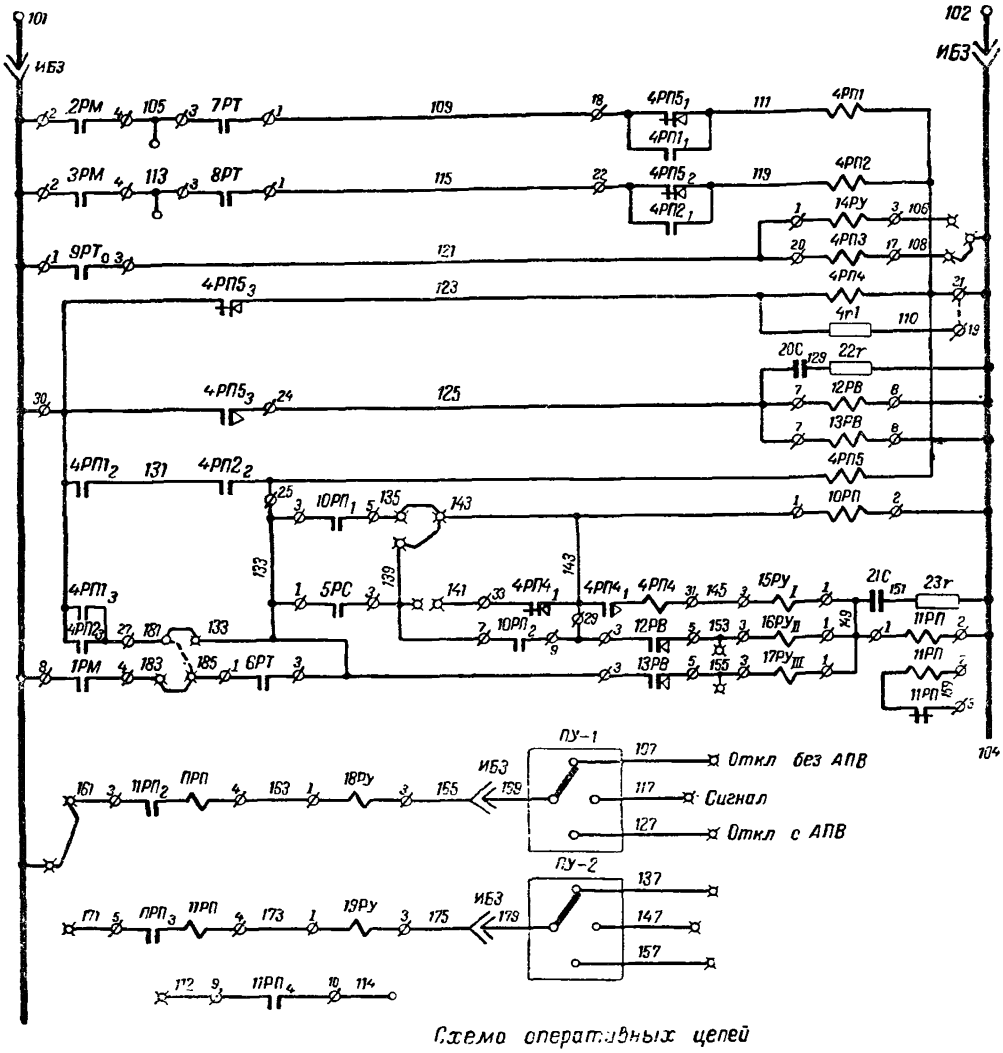


Схема оперативных цепей

Рис. 3-135. Схема дистанционной

При использовании защиты в сетях с малыми токами замыкания на землю ставится перемычка *004—403*, чем реле *2РМ* и *7РТ* включаются на сумму токов фаз *А* и *С*. Такое включение при двойных замыканиях на землю фаз *АВ* или *ВС* позволяет производить отключение лишь одной из двух точек замыкания на землю.

В цепях постоянного тока реле *7РТ*, *8РТ*, *9РТ* совместно с реле *2РМ* и *3РМ* управляют переключательными реле *4РП1*, *4РП2* и *4РП3*.

Реле *4РП1* и *4РП2* имеют фиксацию начального действия пусковых органов через свои замыкающие контакты, благодаря чему исключены дальнейшие переключения при переходах двухфазных коротких замыканий в трехфазные.

При использовании защиты в сетях с большими токами замыкания на землю реле *4РП3* выводится из действия снятием перемычки *104—108*, а реле *4РП5* не пускается при любых однофазных коротких замыканиях, потому что в этом случае снимаются перемычки *181—183*, *183—185* и устанавливается перемычка *181—185*.

Реле *6РТ* и *1РМ* включены в выходные цепи защиты, обслуживают только цепь третьей зоны, обеспечивая одинаковую чувствительность к замыканиям между любыми фазами в сети за трансформатором с соединением обмоток звезда — треугольник.

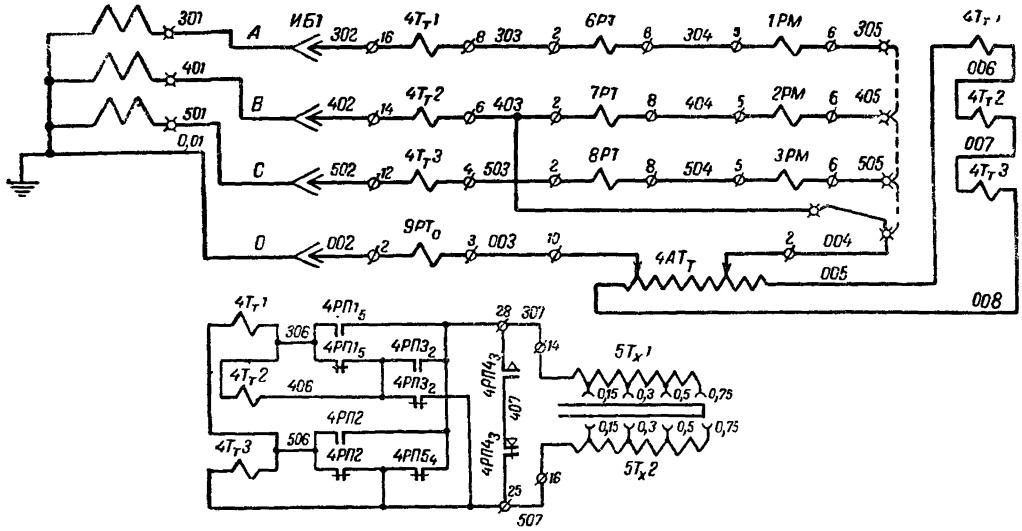


Схема цепей переменного тока

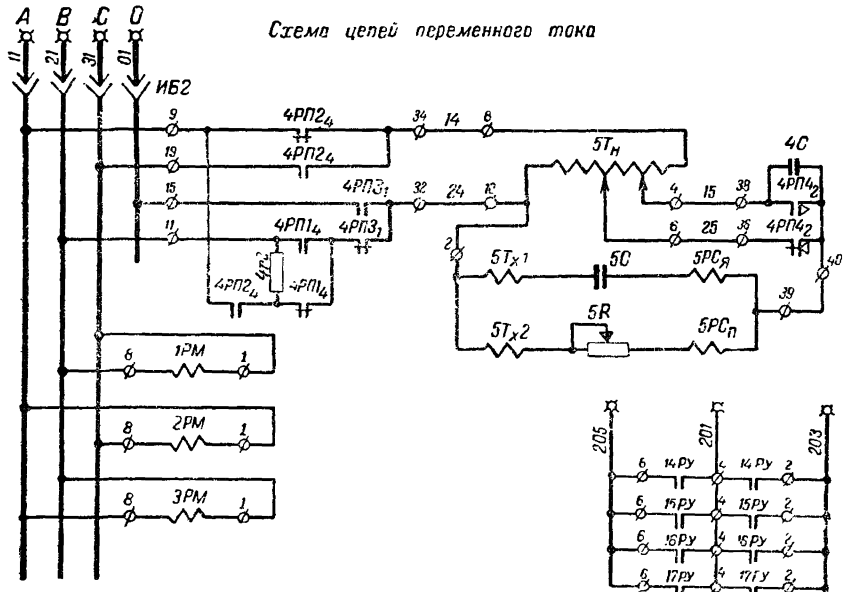


Схема цепей переменного напряжения

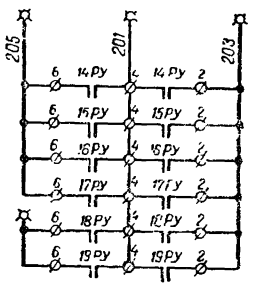
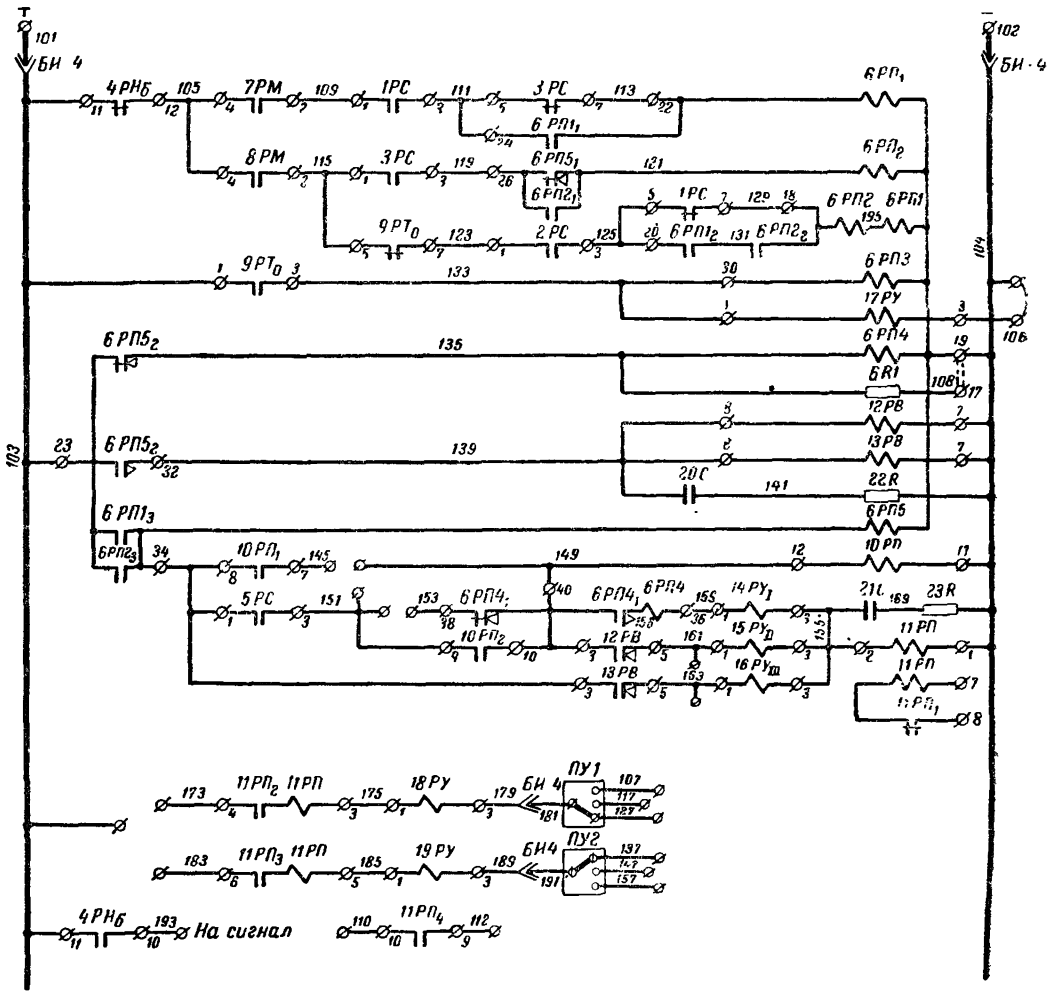


Схема цепей сигнализации

защиты типа ПЗ-152.



Развернутая схема оперативных цепей

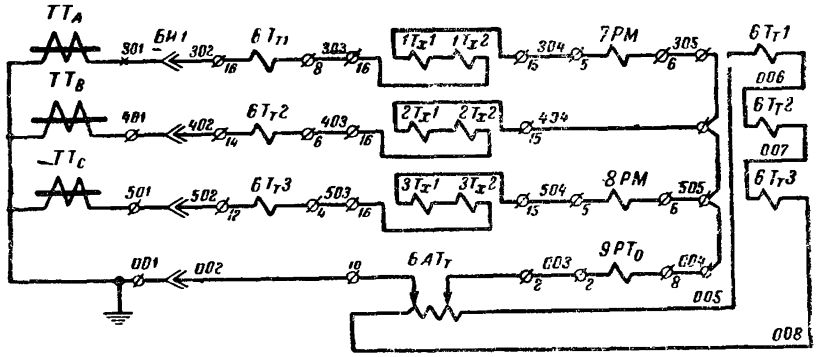
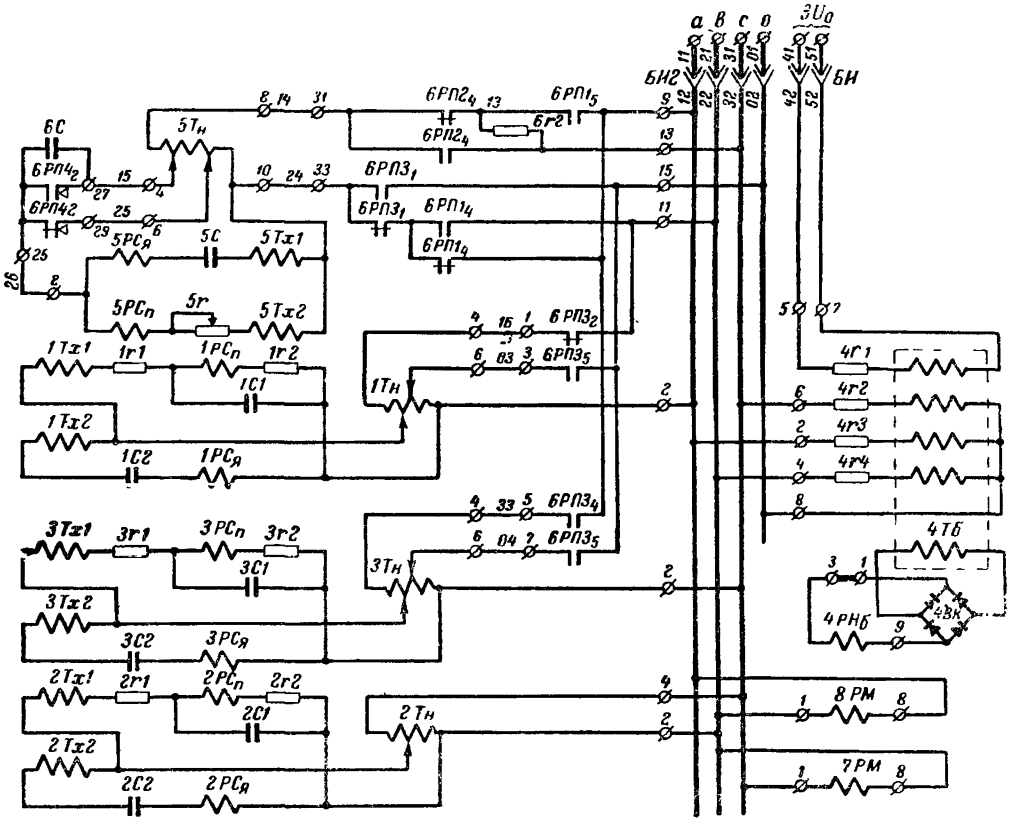
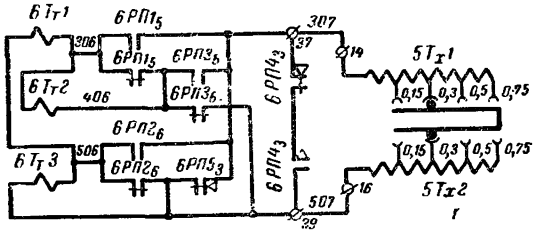


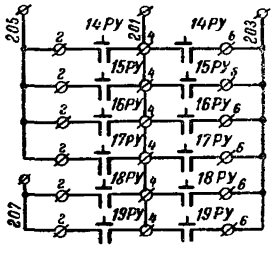
Рис. 3-136. Схема дистанционной



Развернутая схема цепей переменного напряжения



Развернутая схема цепей переменного тока



Развернутая схема цепей сигнализации

защиты типа ПЗ-153.

Таблица 3-107

Действие защиты ПЗ-152 при различных видах повреждений

Защита используется в сетях	Режим	Ток повреждения в фазах	Мощность от шин в фазах	Срабатывают: пусковые органы 6РТ	7РТ	8РТ	9РТ0	реле мощности 1РМ	2РМ	3РМ	промежуточные реле 4РП1	4РП2	4РП3	4РП4	К дистанционному органу подводится: ток	напряжение	Действие защиты на отключение
С малыми токами замыкания на землю	Нормальный	—	—	—	—	—	—	±	±	±	—	—	—	—	—	Удержи-вания	—
	Трехфазное к. з.	*ABC*	*ABC*	+	+	+	—	+	+	+	+	+	—	+	I_c-I_b	U_{cb}	+
	Двухфазное к. з.	*AB*	*AB*	+	+	—	—	+	+	±	+	—	—	+	I_a-I_b	U_{ab}	+
		BC	*BC*	—	+	+	—	±	+	+	+	+	—	+	I_c-I_b	U_{cb}	+
		CA	*CA*	+	—	+	—	+	±	+	—	+	—	+	I_c-I_a	U_{ca}	+
	Двойное замыкание на землю при двустороннем питании	*AB0*	*A*	+	+	—	+	+	+	±	+	—	+	+	I_a+kI_0	U_a	+
			B	+	+	—	+	—	—	±	—	—	+	—	—	U_a	—
		BC0	*B*	—	+	+	+	±	—	—	—	—	+	—	—	U_a	—
			C	—	+	+	+	±	+	+	+	+	+	+	I_c+kI_0	U_c	+
		CA0	*C*	+	±	+	+	—	±	+	±	+	+	+	I_c+kI_0	U_c	+
			A	+	±	+	+	+	±	—	±	—	+	±	I_a+kI_0	U_a	+
	Двойное замыкание на землю при одностороннем питании	*AB0*	*A*	+	+	—	+	+	+	±	+	—	+	+	I_a+kI_0	U_a	+
			B	—	—	—	+	±	±	±	—	—	+	—	—	U_a	—
		BC0	*B*	—	—	—	+	±	±	±	—	—	+	—	—	U_a	—
			C	—	+	+	+	±	+	+	+	+	+	+	I_c+kI_0	U_c	+
		CA0	*C*	—	+	+	+	±	+	+	+	+	+	+	I_c+kI_0	U_c	+
			A	+	+	—	+	+	+	±	+	—	+	+	I_a+kI_0	U_a	+
С большими токами замыкания на землю	3-фазное к. з.	*ABC*	*ABC*	+	+	+	—	+	+	+	+	+	0	+	I_c-I_b	U_{cb}	+
	2-фазное к. з.	*AB*	*AB*	+	+	—	—	+	+	±	+	—	0	+	I_a-I_b	U_{ab}	+
		BC	*BC*	—	+	+	—	±	+	+	+	+	0	+	I_c-I_b	U_{cb}	+
		CA	*CA*	+	—	+	—	+	±	+	—	+	0	+	I_c-I_a	U_{ca}	+
	2-фазное замыкание на землю	*AB0*	*AB*	+	+	—	+	+	+	±	+	—	0	+	I_a-I_b	U_{ab}	+
		BC0	*BC*	—	+	+	+	±	+	+	+	+	0	+	I_c-I_b	U_{cb}	+
		CA0	*CA*	+	—	+	+	+	±	+	—	+	0	+	I_c-I_a	U_{ca}	+

Примечание: плюс—реле срабатывает; минус—реле не работает; плюс-минус—может находиться в любом положении; нуль—реле выведено из действия.

Таблица 3-108

Действие защиты ПЗ-153 при различных видах повреждений

Режим	Ток повреждения в фазах	Мощность от шин в фазах	Срабатывают: пусковые органы 1РС	3РС	2РС	9РТ0	реле мощности 7РМ	8РМ	промежуточные реле 6РП1	6РП2	6РП3	К дистанционному органу подводится: ток	напряжение	Действие защиты на отключение
Нормальный	—	—	—	—	—	—	±	±	—	—	—		Удерживания	—
Трехфазное к. з.	*ABC*	*ABC*	+	+	+	—	+	+	—	+	—	$I_c - I_a$	U_{ca}	+
Двухфазное к. з.	*AB*	*AB*	+	—	±	—	+	±	+	—	—	$I_a - I_b$	U_{ab}	+
	BC	*BC*	—	±	+	—	±	+	+	+	—	$I_c - I_b$	U_{cb}	+
	CA	*CA*	±	+	—	—	+	+	—	+	—	$I_c - I_a$	U_{ca}	+
Двойное замыкание на землю при двустороннем питания	*AB0*	*A*	+	—	0	+	+	±	+	—	+	$I_a - kI_0$	U_a	+
		B	+	—	0	+	—	+	—	—	+	—	U_a	—
	BC0	*B*	—	+	0	+	+	—	—	—	+	—	U_a	—
		C	—	+	0	+	±	+	—	+	+	$I_c + kI_0$	U_c	+
	CA0	*C*	+	+	0	+	—	+	—	+	+	$I_c + kI_0$	U_c	+
		A	+	+	0	+	+	—	—	—	+	—	U_a	—
Двойное замыкание на землю при одностороннем питаии	*AB0*	*A*	+	—	0	+	+	±	+	—	+	$I_a - kI_0$	U_a	+
		B	—	—	0	+	±	±	—	—	+	—	U_a	—
	BC0	*B*	—	—	0	+	±	±	—	—	+	—	U_a	—
		C	—	+	0	+	±	+	—	+	+	$I_c + kI_0$	U_c	+
	CA0	*C*	—	+	0	+	±	+	—	+	+	$I_c + kI_0$	U_c	+
		A	+	—	0	+	+	±	+	—	+	$I_a + kI_0$	U_a	+

Примечание. Условные обозначения те же, что в табл. 3-107.

Таблица 3-109

Коэффициент трансформации автотрансформатора тока $4AT_т$ ($6AT_т$) дистанционных защит ПЗ-152 (ПЗ-153)

Винты ввернуты в гнезда	1—8	1—7	1—6	1—5	2—8	2—7	2—6	2—5	3—8	3—7	3—6	3—5	4—8	4—7	4—6	4—5
$n_т$	0,95	0,92	0,88	0,84	0,805	0,77	0,73	0,695	0,66	0,62	0,585	0,55	0,51	0,47	0,44	0,4

Особенности защиты ПЗ-153

Пусковые реле сопротивления *1РС*, *2РС*, *3РС* включены на линейные напряжения, при замыканиях на землю реле *1РС* и *3РС* переключаются на фазные напряжения контактами реле *6РП3*, а реле *2РС* выводится

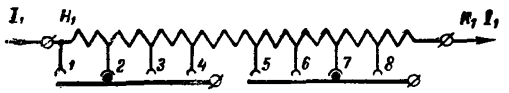


Рис. 3-137. Схема соединений автотрансформатора тока $4AT_т$ ($6AT_т$) дистанционных защит ПЗ-152 (ПЗ-153).

из действия, поэтому при двойных замыканиях защита обеспечивает отключение одной точки замыкания на землю в $^2/_3$ случаев аналогично защите ПЗ-152.

Реле сопротивления *1РС*, *2РС*, *3РС* совместно с реле *7РМ*, *8РМ* и $9РТ_0$ управляют переключательными реле *6РП1*, *6РП2* и *6РП3*.

Для обеспечения четкой избирательности в защите выполнена неполная циклическая блокировка пусковых реле: размыкающий контакт реле *3РС* блокирует цепь замыкающего контакта реле *1РС*, размыкающий контакт реле *1РС* блокирует цепь замыкающего контакта *2РС*.

Реле *6РП1* и *6РП2* выполнены двухобмоточными, одна обмотка включена в цепи соответствующих пусковых реле, а другие соединены последовательно и включены в цепь контакта реле *2РС*. Благодаря этому при двухфазных коротких замыканиях фаз *BC*, когда кроме реле *2РС* может сработать и реле *3РС* и неправильно включить дистанционный орган, влияние реле *3РС* на работу реле *6РП1* и *6РП2* исключается.

При двойных замыканиях на землю с током в фазе *B* срабатывает пусковое реле *2РС*, но оно не запускает реле *6РП1* и *6РП2*, так как в этом случае цепь запуска разрывается контактом реле $9РТ_0$.

Размыкающие контакты реле *1РС* и *3РС* шунтированы замыкающими контактами реле *6РП1* и *6РП2*, благодаря чему последние осуществляют фиксацию начального срабатывания пусковых реле и этим обеспечи-

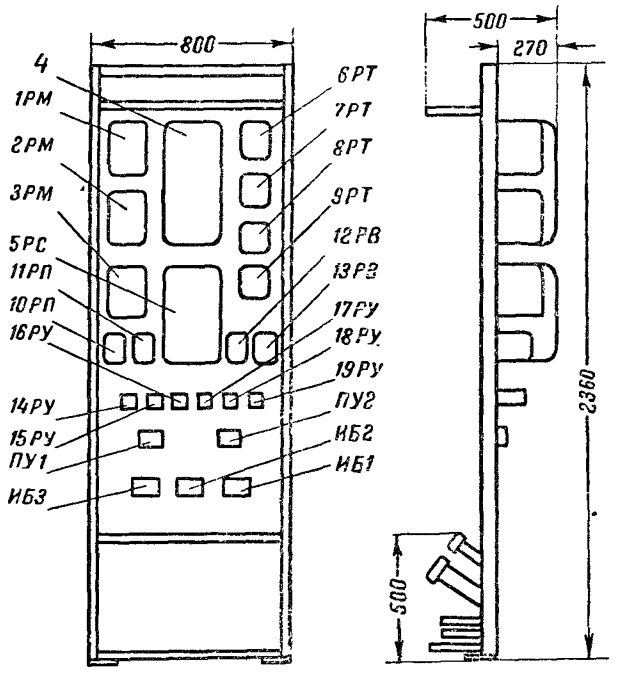


Рис. 3-138. Общий вид панели дистанционной защиты ПЗ-152.

вают правильную работу схемы при переходах двухфазных коротких замыканий в трехфазные.

Контакты $6РП1_3$ и $6РП2_3$ контролируют цепи отключения и управляют работой реле *6РП5*.

Защита имеет блокировку при повреждениях в цепях напряжения; через размыкающий контакт реле блокировки $4РН_6$ подается постоянный ток на контакты пусковых органов защиты.

Дистанционные защиты ПЗ-152 и ПЗ-153 выпускаются на стандартных панелях шириной 800 *мм* (рис. 3-138, 3-139).

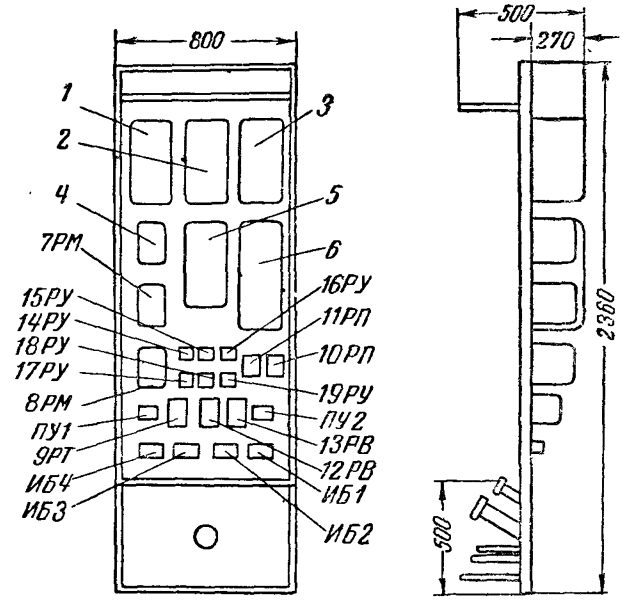


Рис. 3-139. Общий вид панели дистанционной защиты ПЗ-153.

3-48. ПАНЕЛЬ РЕЛЕЙНОЙ ЧАСТИ ФИЛЬТРОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ С ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ БЛОКИРОВКОЙ ТИПА ПЗ-164А

ПЗ-164А применяется в качестве основной быстродействующей защиты от всех видов к. з. высоковольтных линий электропередач.

Полный комплект фильтровой направленной защиты с высокочастотной блокировкой состоит из двух панелей релейной части, установленных по концам защищаемой линии, и высокочастотного канала, связывающего обе панели.

Принцип действия защиты основан на сравнении направления мощности обратной последовательности при несимметричных повреждениях и прямой последовательности при симметричных повреждениях по концам линии.

При возникновении короткого замыкания срабатывают пусковые органы и запускают высокочастотные передатчики на обеих концах линии.

В случае однозначного направления мощности по концам линии (при повреждении на линии) передатчики останавливаются и защита отключает линию с обеих сторон.

При сквозном к. з. направление мощности по концам линии неоднозначно, поэтому блокирующий высокочастотный сигнал не снимается и защита не действует.

Пуск защиты при всех видах коротких замыканий осуществляется при помощи одного реле напряжения *1РН* (рис. 3-140), включенного на фильтр напряжения обратной последовательности.

При срабатывании пускового органа хотя бы на одном из концов ЛЭП пускаются оба передатчика. Запуск передатчика дальнего конца в этом случае производится дистанционно токами высокой частоты, что обеспечивает избирательное действие защиты при пуске ее только с одной стороны.

Реле направления мощности *2РМ*, осуществляющее останов высокочастотного передатчика, нормально включено через фильтры тока и напряжения обратной последовательности, а при симметричных к. з. переключается на фазный ток и междуфазное напряжение, чем обеспечивается правильное определение знака мощности при симметричных повреждениях.

Защита вводится в действие лишь на время, достаточное для ее срабатывания (порядка 0,25 *сек*).

Поскольку пуск защиты осуществляется на ограниченное время от составляющих обратной последовательности, то она не реагирует на качания и перегрузку линии.

Готовность защиты к действию после отключения несимметричного повреждения в сети наступает через 0,1 *сек*.

К повторному действию на симметричное повреждение защита готова только через несколько секунд после первого повреждения.

Цепи переменного тока защиты содержат трансформаторы *23Т* и *24Т* фильтра токов обратной последовательности (ФТОП), фильтр ФТОП, реле *16РТ* и токовую обмотку реле направления мощности *2РМ*. Чувст-

Таблица 3-110

Технические данные дистанционных защит типов ПЗ-152 и ПЗ-153

Наименование параметра		ПЗ-152	ПЗ-153
Номинальные данные: $U_{ном}$ постоянного тока, *в* $U_{ном}$ переменного тока 50 *гц*, *в* $I_{ном}$ переменного тока, *а*		220, 110, 48, 24 100 5 или 1	
$P_{потр}$ цепи: тока при $I_{ном}$, *ва* на фазу переменного напряжения при $U_{ном}$, *ва* на фазу		16 100	20 120
постоянного тока, *вт*: в нормальном режиме при срабатывании защиты		5 130	120
Время термической устойчивости к 110% номинальных значений постоянного и переменного тока		Длительно	
Сопротивление изоляции всех независимых цепей на корпус и между собой, *Мом*		5	
Электрическая прочность изоляции относительно корпуса при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		1 750	
Пределы $z_{ср}$, *ом* на фазу, при:			
$I_{ном} = 5$ *а*	I зона II зона III зона	0,15—7,5 0,3—15 —	2—20
$I_{ном} = 1$ *а*	I зона II зона III зона	0,75—37,5 1,5—75 —	10—100
Десятипроцентная точность работы защиты при к. з. в первой зоне в зависимости от уставки обеспечивается при токах, *а* (приведено к номинальному току 5 *а*), для времени: *4РП4 (6РП4)* 0,25—0,36 *сек*		0,15 0,3 0,5 0,75	10—150 5—100 3—60 2—40
4РП4 (6РП4) 0,14—0,17 *сек*		0,15 0,3 0,5 0,75	16—150 8—10 5—60 3,5—40
То же для пусковых реле сопротивления	$I_{ном} = 5a$ $I_{ном} = 1a$	— —	2—50 0,4—10
Время возврата реле *4РП4 (6РП4)*, *сек*: нормальное увеличенное		0,14—0,17 0,25—0,35	
Время возврата реле *4РП5 (6РП5)*, *сек*		0,12—0,17	
$t_{ср}$ защиты в пределах первой зоны ($z_{к.з} \leqslant 0{,}7\, z_1$) при номинальном токе 5 *а*, z_1, равном 0,5 *ом* на фазу ($z_з$ равно 4 *ом* на фазу), *сек*		Не более 0,2	
Пределы $t_{ср}$ защиты, *сек*, для: II зоны III зоны		0,25—3,5 0,5—9	
$I_{ном}$ удерживания выходного реле *11РП*, *а*		1,2 или 4	

Таблица 3-111

Аппараты, входящие в панель защиты ПЗ-152 (ПЗ-153)

Наименование и обозначение	Тип	Количество	
		ПЗ-152	ПЗ-153
Пусковые реле сопротивления (*1РС*, *2РС*, *3РС*)	КРС-112	—	3
Реле направления мощности (*1РМ*, *2РМ*, *3РМ*—ПЗ-152, *7РМ*, *8РМ*—ПЗ-153)	ИМБ-171А/1	3	2
Комплект блокировки при обрыве цепей напряжения (*4*)	КРБ-12	—	1
Комплект трансформаторов и кодовых реле (*4*—ПЗ-152, *6*—ПЗ-153)	—	1	1
Дистанционный орган (*5РС*)	Аналогичен КРС-111	1	1
Реле максимального тока (*6РТ*, *7РТ*, *8РТ*, *9РТ*$_0$—ПЗ-152, *9РТ*$_0$—ПЗ-153)	ЭТ-523	4	1
Реле промежуточное (*10РП*)	РП-23 (ЭП-103)	1	1
Реле промежуточное выходное (*11РП*)	РП-253 (ЭП-133)	1	1
Реле времени:			
12РВ	ЭВ-122	1	1
13РВ	ЭВ-134	1	1
Реле сигнальное *14РУ—19РУ*	ЭС-21	6	6
Конденсатор на 0,5 *мкф* (*20С*, *21С*)	МБГП	2	2
Сопротивление 500 *ом* (*22r*, *23r*)	—	2	2
Переключающие устройства (*ПУ1*, *ПУ2*)	На 3 положения	2	2
Блок испытательный (*ИБ1*, *ИБ3*—ПЗ-152, *ИБ1*, *ИБ4*—ПЗ-153)	БН-4	3	4

Таблица 3-112

Основные технические данные реле и элементов переменного тока, входящих в защиты ПЗ-152 (ПЗ-153)

Наименование и обозначение	Технические данные	Установлен в защите
Реле направления мощности	$w_п = 30\times2$, ПБД-1,45 ($I_{ном} = 5а$) $w_п = 150\times2$, ПЭВ2-0,8 ($I_{ном} = 1а$) $w_я = 1\,100\times4$, ПЭВ2-0,31 $r_{доб} = 250$ *ом* (ПЭ, ГОСТ 6513-53)	ПЗ-152 и ПЗ-153
Пусковые реле сопротивления *1РС*, *2РС*, *3РС*	Реле типа КРС-112	ПЗ-153
Комплект блокировки при обрыве цепей напряжения	Устройство блокировки типа КРБ-12	
Дистанционный орган *5РС*	Приведены в разделе реле КРС-111	ПЗ-152 и ПЗ-153
Комплект трансформаторов *4* (*6*): трансформаторы тока $Т_т1$, $Т_т2$, $Т_т3$	$w'_1 = w''_1 = 32$, ПБД-1,56 ($I_{ном} = 5а$) $w'_1 = w''_1 = 160$, ПЭЛ-0,8 ($I_{ном} = 1а$) $w_2 = 800$, ПЭЛ-0,51, S стали 8 *см*^{2}	ПЗ-152 и ПЗ-153
Автотрансформатор тока $АТ_т$	$w = 190$, ПБД-1,56, отводы от 28-го, 56-го, 84-го, 160-го, 167-го, 174-го, 181-го витков ($I_{ном} = 5а$) $w = 950$, ПЭВ2-0,8, отводы от 140-го, 280-го, 420-го, 800-го, 835-го, 870-го, 905-го витков ($I_{ном} = 1а$), S стали 8 *см*^{2}	
Сопротивление r_2	$r = 1\,000$ *ом*, ПЭ-20, ГОСТ 6513-53	
Конденсатор $С$	$С = 10\pm1$ *мкф*, $U_{раб} = 200$ *в*, МБГП, ГОСТ 7112-54	
Реле максимального тока ЭТ-523	ЭТ-523/10 — $w = 10\times2$ ПБД-1,95 ($I_{ном} = 5а$) ЭТ-523/2 — $w = 50\times2$ ПБД = 1,25 ($I_{ном} = 1а$)	

Таблица 3-113

Основные технические данные реле постоянного тока, входящих в защиты ПЗ-152 (ПЗ-153)

Наименование, обозначение по схеме и тип элемента			Технические данные для исполнения панели											
			220 *в*			110 *в*			48 *в*			24 *в*		
			Марка и диаметр провода, *мм*	Число витков	Сопротивление, *ом*	Марка и диаметр провода, *мм*	Число витков	Сопротивление, *ом*	Марка и диаметр провода, *мм*	Число витков	Сопротивление, *ом*	Марка и диаметр провода, *мм*	Число витков	Сопротивление, *ом*
Комплект кодовых реле *4 (6)*	Реле *РП1, РП2, РП3*—ПЗ-152; *РП3*—ПЗ-153 типа КДР-1		ПЭВ2-0,1	25 000	3 800	ПЭВ2-0,14	12 700	960	ПЭВ2-0,21	5 700	185	ПЭВ2-0,29	2 850	46
	Реле *РП1, РП2*—ПЗ-153 типа КДР-1	в цепи *ЗРС*	ПЭВ2-0,1	14 000	2 500	ПЭВ2-0,14	7 100	630	ПЭВ2-0,21	3 100	115	ПЭВ2-0,29	1 600	31
		в цепи *2РС*	ПЭВ2-0,11	8 300	880	ПЭВ2-0,16	4 000	205	ПЭВ2-0,25	1 700	35	ПЭВ2-0,35	850	9
	Реле *РП4* типа КДР-3	удерживающая обмотка	ПЭЛ-0,15	2 200	110	ПЭЛ-0,2	1 100	30	ПЭЛ-0,29	470	6	ПЭЛ-0,41	230	1,5
		рабочая обмотка	ПЭЛ-0,07	44 000	14 500	ПЭЛ-0,09	27 000	5 000	ПЭЛ-0,14	11 500	950	ПЭЛ-0,18	6 000	250
	Реле *РП5* типа КДР-3		ПЭЛ-0,08	37 000	9 000	ПЭЛ-0,12	20 000	2 000	ПЭЛ-0,18	9 500	435	ПЭЛ-0,25	5 100	120
	Сопротивление r_1 типа ПЭ-20 ГОСТ 6513-53		$r = 2\times5\,000$ *ом*			$r = 2\times1\,500$ *ом*			$r = 2\times300$ *ом*			$r = 2\times75$ *ом*		
	Реле промежуточное *10РП*	типа РП-23	ПЭВ1-0,9	35 000	8 500	ПЭВ1-0,12	21 000	2 750	ПЭВ1-0,19	9 000	480	ПЭВ1-0,27	4 500	120
		типа ЭП-103	ПЭЛ-0,09	40 000	10 000	ПЭЛ-0,14	17 500	1 900	ПЭЛ-0,2	8 700	425	ПЭЛ-0,29	4 100	100
Реле промежуточное *11РП* типа	РП-253	демпферная обмотка	ПЭВ2-0,41 $w_1 = 1\,000$											
		удерживающие обмотки	$w_2 = w_3 = 100$, ПЭВ2-0,7 (на ток 1 *а*); $w_2 = w_3 = 50$, ПЭВ2-0,93 (на ток 2 *а*); $w_2 = w_3 = 25$, ПЭВ2-1,0 (на ток 4 *а*)											
		рабочая обмотка	ПЭВ2-0,07	11 000	4 400	ПЭВ2-0,1	5 500	1 100	ПЭВ2-0,15	2 400	210	ПЭВ2-0,21	1 200	53
	ЭП-133	демпферная обмотка	ПЭЛ-0,44 $w_1 = 1\,100$ витков $r = 9$ *ом*											
		удерживающие обмотки	$w_2 = w_3 = 240$; ПЭЛ-0,38, $r = 3{,}6$ *ом* (на ток 1 *а*), $w_2 = w_3 = 120$, ПЭЛ-0,55, $r = 0{,}9$ *ом* (на ток 2 *а*); $w_2 = w_3 = 60$, ПЭЛ-0,8, $r = 0{,}2$ *ом* (на ток 4 *а*)											
		рабочая обмотка	ПЭВ1-0,1 ПШДК-0,15	17 500 400	4 800 1 780	ПЭВ1-0,14 ПШДК-0,15	8 800 70	1 240 330	ПЭВ1-0,21 ПШДК-0,15	3 900 14	240 60	ПЭВ1-0,29 ПШДК-0,3	1 950 14	62 15
Реле времени *12РВ, 13РВ* типа ЭВ-122 и ЭВ-134			ПЭЛ-0,14	18 900	1 750	ПЭЛ-0,2	9 800	450	ПЭЛ-0,31	4 250	80	ПЭЛ-0,44	2 000	20
Реле сигнальное *14РУ (17РУ)* типа ЭС-21			ПЭЛ-0,05	61 000	28 000	ПЭЛ-0,07	32 000	7 500	ПЭЛ-0,11	14 000	1 440	ПЭЛ-0,15	7 000	300
Реле сигнальные: *15РУ, 16РУ* *17РУ, 14РУ* *15РУ, 16РУ*			ЭС-21/0,025			ЭС-21/0,05			ЭС-21/0,1			ЭС-21/0,25		
			ПЭЛ-0,17	7 200	320	ПЭЛ-0,25	3 600	70	ПЭЛ-0,35	1 800	18	ПЭЛ-0,55	720	3
18РУ, 19РУ типа	ЭС-21/0,5 ЭС-21/1		$w = 360$, ПЭЛ-0,8, $r = 0{,}7$ *ом* (на ток 1 *а*) $w = 180$, ПЭЛ-1,0, $r = 0{,}2$ *ом* (на ток 2 и 4 *а*)											

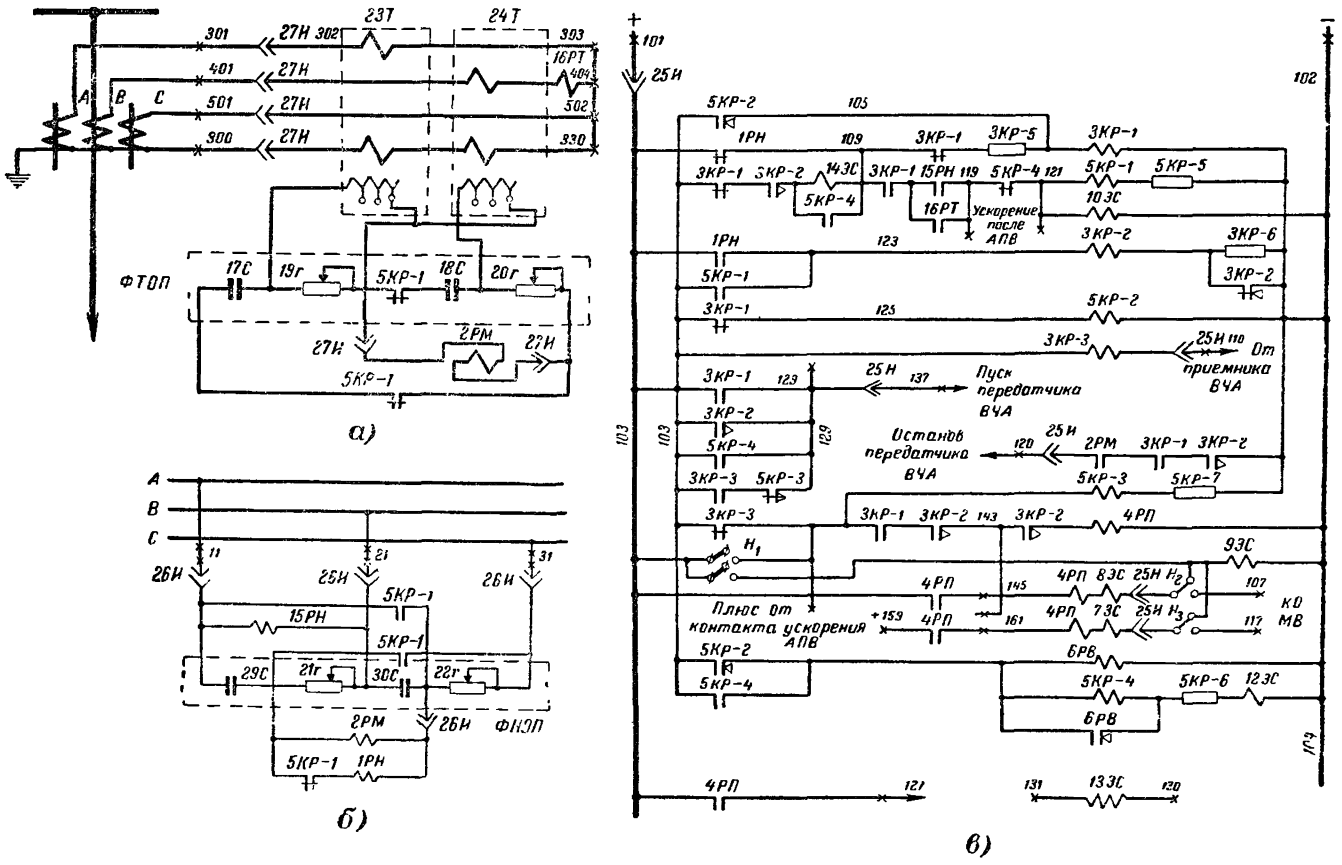


Рис. 3-140. Схема релейной части фильтровой направленной защиты с высокочастотной блокировкой типа ПЗ-164А.
Положение контактов реле показано для защиты, находящейся в рабочем (включенном, но не запущенном) состоянии. Крестиком обозначены провода, выведенные на зажимный ряд панели.
а — схема цепей переменного тока; *б* — схема цепей переменного напряжения; *в* — схема оперативных цепей.

вительность реле *2РМ* может изменяться путем переключения отпаек во вторичных обмотках *23Т* и *24Т*.

Цепи переменного напряжения защиты содержат реле напряжения *1РН* и реле *15РН*, обмотку напряжения реле *2РМ*, фильтр напряжения обратной последовательности (ФНОП) на выход которого включены реле *1РН* и обмотка реле *2РМ*.

Цепи постоянного тока защиты включают в себя:

Кодовое реле ***3КР-1*** — осуществляет пуск высокочастотного передатчика; подготавливает на время, достаточное для действия защиты, цепь отключения; размыкает цепь катушки реле ***5КР-2***.

Кодовое реле ***3КР-2*** — создает задержку 1—1,5 периода в останове высокочастотного передатчика после пуска защиты, что необходимо для обеспечения избирательного действия защиты за счет ответного высокочастотного сигнала при внешних коротких замыканиях при отказе в действии пускового реле с одной стороны; замыкает цепь реле *5КР-1*; подготавливает цепь отключения.

Поляризованное реле *3КР-3* — включено в анодную цепь приемника, контролирует цепь отключения и обеспечивает дистанционный запуск передатчика от тока высокой частоты, полученного с противоположного конца линии.

Промежуточное реле *4РП* — выходное реле защиты, обеспечивает действие защиты на два выключателя.

Таблица 3-114

Назначение сигнальных реле защиты ПЗ-164А

Вид повреждения на ЛЭП или режим работы защиты	Действуют сигнальные реле
Повреждение в зоне:	
несимметричное	*8ЭС*, (*7ЭС*), *11ЭС*, *12ЭС*
симметричное	*8ЭС*, (*7ЭС*), *10ЭС*, *11ЭС*
Повреждение вне зоны	*11ЭС*, *12ЭС*
Перегорание предохранителей или обрыв в цепях напряжения переменного тока	*11ЭС*, *12ЭС*, *14ЭС*
Перегорание предохранителей или обрыв в цепи постоянного тока	*11ЭС*
Восстановление цепи постоянного тока	*11ЭС*, *12ЭС*
Обрыв цепей накала ламп приемопередатчика	*13ЭС*
Опробование линии от защиты (накладка H_1 замкнута)	*9ЭС*
Действие защиты на сигнал	*9ЭС*

Таблица 3-115

Технические данные защиты типа ПЗ-164А

Наименование параметра			Величина
Номинальные данные:			
переменный ток $U_{ном}$, *в*			100
$f_{ном}$, *гц*			50
$I_{ном}$, *а*			5
$U_{ком}$ постоянного тока, *в*			110 или 220
$P_{потр}$ в нормальном режиме:			
цепи переменного тока при 5 *а*, *ва* на фазу (не более)			6
цепи переменного напряжения при 100 *в*, *ва* на фазу (не более)			50
цепи постоянного тока, *вт* { 110 *в* / 220 *в*			13 / 18
$P_{потр}$ цепей постоянного тока при работе защиты, *вт* { 110 *в* / 220 *в*			100 / 150
Выходное промежуточное реле защиты *4ЭП*			
Исполнения каждой сериесной обмотки, *а*			1, 2 или 4
Выдержка времени на срабатывание:			
при разомкнутой демпферной обмотке, *сек* (не более)			0,04
при замкнутой демпферной обмотке, *сек* (не менее)			0,07
$t_{ср}$ защиты:			
при несимметричных коротких замыканиях, *сек*			0,06—0,12
при симметричных коротких замыканиях, *сек*			0,08—0,16
Поляризованное реле ЗКР-3:			
$I_{ср}$, *ма* (не более)			6
$I_в$, *ма* (не более)			1,5
$U_{ср}$ реле *1РН* (линейное напряжение обратной последовательности на входе фильтра), *в*			3,5—7
$P_{ср}$ реле *2РМ*, *ва* на фазу:			
обратная последовательность	Отпайки на *23Т* и *24Т*	*5—6*	3
		5—7	5,5
		5—8	8
прямая последовательность		*5—6*	5,5
		5—7	10
		5—8	15
Рекомендуемые отпайки на *23Т* и *24Т* для реле *2РМ* во избежание перенапряжений на конденсаторах фильтра ФТОП	Максимальный ток трехфазного к. з., *а* вторичных	60	5—6
		100	5—7
		170	5—8
$\varphi_{м.ч}$ реле *2РМ* на входе панели (ток отстает от напряжения), *град*:			
при мощности обратной последовательности			255—265
при мощности прямой последовательности			60—70
Термическая устойчивость реле и аппаратов, % номинальных величин			110
Электрическая прочность изоляции (переменный ток 50 *гц*) в течение 1 *мин*, *в*			1 500

Таблица 3-116

Аппараты, входящие в панель защиты типа ПЗ-164А

Наименование	Обозначение по схеме	Тип	Количество
Реле напряжения	*1РН*	ЭН-526/7Ф	1
Реле направления мощности	*2РМ*	ИМБ-171/ф1	1
Комплект кодовых реле	*3КР*	ККР-262А	1
Реле промежуточное	*4РП*	РП-253	1
Комплект кодовых реле	*5КР*	ККР-263	1
Реле времени	*6РВ*	ЭВ-131	1
Реле сигнальное	*7ЭС—14ЭС*	ЭС-21	8
Реле напряжения	*15РН*	ЭН-528/160	1
Реле токовое	*16РТ*	ЭТ-521/10	1
Комплект конденсаторов	*17С, 18С, 29С, 30С*	ВУ-37	2
Сопротивление	*19r, 20r, 21r, 22r*	ВС-241	4
Трансформаторы ФТОП	*23Т, 24Т*	ВТ-35/5	2
Испытательный блок	*25И, 26И, 27И*	ВИ-6	3
Накладка	$И_1$, $И_2$, $И_3$	—	3

Таблица 3-117

Технические данные комплектов кодовых реле и фильтров защиты типа ПЗ-164А

Наименование комплекта	Наименование элемента	Обозначение по схеме	Тип	Величина сопротивления (для реле и сопротивлений), *ом*; величина емкости (для конденсаторов), *мкф*	
				110	220
ККР-262А	Реле промежуточное	*3КР-1*	КДР-1	435	2 000
		3КР-2	КДР-3	435	2 000
	Реле поляризованное	*3КР-3*	ТРМ	3 000	
	Сопротивление	*3КР-5*	Остеклованные	2×1 000	2×4 000
		3КР-6		1 000	4 000
ККР-263	Реле промежуточное	*5КР-1*	КДР-1	435	
		5КР-2	КДР-3	9 000	17 000
		5КР-3	КДР-4	3 000	
		5КР-4	КДР-1	435	
	Сопротивление	*5КР-5*	Остеклованные	500	1 500
		5КР-6		500	1 500
		5КР-7		1 000	5 000
ФТОП	Сопротивление	*19r*	ВС-241	300—500	
		20r		100—300	
	Конденсатор	*17С*	ВУ-37	16	
		18С		8	
ФНОП	Сопротивление	*21r*	ВС-241	100—250	
		22r		50—130	
	Конденсатор	*29С*	ВУ-37	36	
		30С		20	

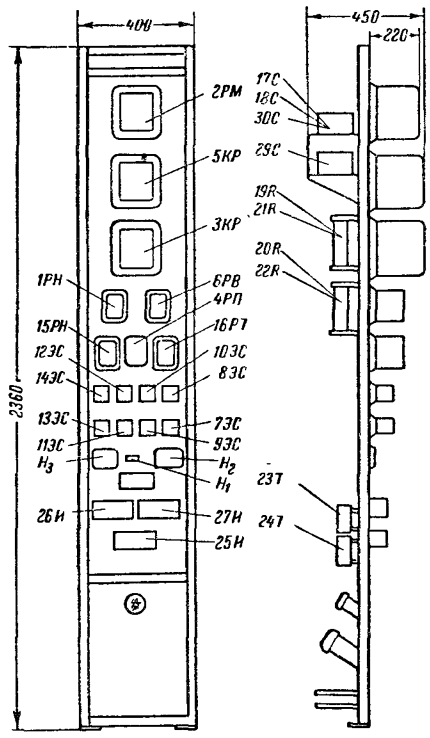


Рис. 3-141. Общий вид и размеры панели защиты типа ПЗ-164А.

Кодовое реле *5КР-1* — осуществляет при симметричных коротких замыканиях включение реле мощности *2РМ* на фазный ток ($I_в$) и междуфазное напряжение ($U_{сд}$) и размыкает цепь реле *1РН*, предотвращая *прыгание* реле *1РН* при переключениях в цепях фильтра.

Кодовое реле *5КР-2* — обеспечивает готовность защиты к повторному действию при несимметричных коротких замыканиях, имеет выдержку времени на отпадание 0,22—0,27 *сек*.

Кодовое реле *5КР-3* — выполняет автоматический останов передатчика в случае дистанционного запуска последнего контактом реле *3КР-2*. Имеет выдержку времени на отпадание 0,5—0,6 *сек*.

Кодовое реле *5КР-4* — действует после срабатывания реле *5КР-2*, своим размыкающим контактом выводит из действия реле *5КР-1*, а замыкающим контактом управляет реле *5РВ*.

Реле времени *6РВ* — служит для создания выдержки времени, в течение которого защита выведена из действия после симметричного короткого замыкания

Сигнальные реле *7ЭС—14ЭС* имеют назначение, указанное в табл. 3-114.

Сигнальное реле *13ЭС* включается в цепь контакта реле контроля исправности цепей накала приемопередатчика.

Реле напряжения *15РН* и реле тока *16РТ* предотвращают срабатывание реле *5КР-1*, а следовательно, и переключение реле мощности *2РМ* на фазный ток и междуфазное напряжение при отсутствии симметричного повреждения.

Релейная часть защиты смонтирована на металлической панели, расположение аппаратуры и размеры которой даны на рис. 3-141

Реле *3КР-1*, *3КР-2*, *3-КР3* и добавочные сопротивления к ним смонтированы в общем кожухе реле *3КР*, а реле *5КР-1—5КР-4* — с добавочными сопротивлениями в кожухе реле *5КР*.

3-49. ПАНЕЛЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ЗАЩИТЫ ТИПА ДФЗ-2

ДФЗ-2 применяется в качестве основной быстродействующей защиты высоковольтных линий электропередач с большими токами замыкания на землю от всех видов повреждений.

Аппаратура защиты состоит на каждом конце линии из панели релейной части типа ДФЗ-2 и соответствующего высокочастотного оборудования.

Защита является быстродействующей при всех видах повреждений, не реагирует на качания в системе и может применяться на линиях, оборудованных как трехфазным, так и однофазным АПВ.

Принцип действия защиты основан на сравнении фаз токов по концам защищаемой линии.

Релейная часть защиты (панель типа ДФЗ-2) состоит из трех основных органов: пускового, сравнения фаз и манипуляции высокочастотным передатчиком.

Схема цепей постоянного тока защиты приведена на рис. 3-142, а переменного — на рис. 3-143.

Пуск защиты осуществляется:

а) при несимметричных коротких замыканиях поляризованными реле *1ПР1* и *1ПР2*, включенными на выход фильтра токов обратной последовательности (на ток I_2) и трансформатор $1ТН_0$ (на ток $3I_0$), если тока I_2 недостаточно и приходится использовать трансформатор $1ТН_0$;

б) при симметричных коротких замыканиях от реле *1ПР1* и *1ПР2*, реле сопротивления *1ИС* и токовых реле *3ЭТ* и *4ЭТ*.

На линиях небольшой протяженности в ряде случаев вместо реле *1ИС* может быть использовано реле минимального напряжения, поставляемое комплектно с панелью.

Сравнение фаз токов производится от комбинированного фильтра типа I_1+kI_2 блока манипуляции, который, преобразуя трехфазную систему токов в однофазную, позволяет выполнить защиту с одним высокочастотным каналом.

Напряжение манипуляции с выхода фильтра I_1+kI_2 (от трансформатора тока *2ТФМ* и сопротивления *2r3*) подается через трансформатор *2ТМ* к передатчику высокочастотного аппарата. Стабилизольты *2СТ1* и *2СТ2* ограничивают напряжение при больших токах к. з., а сопротивление *2С4* и конденсатор *2С6* создают нагрузку трансформатора манипуляции *2ТМ*, обеспечивающую фазу напряжения манипуляции, практически совпадающую с фазой тока I_1+kI_2. Величина коэффициента k может изменяться переключением отпаек от вторичной обмотки трансформатора *2ТФМ* на переключателе *2К*. Напряжением с выхода трансформатора *2ТМ* осуществляется управление передатчиком (манипуляция передатчика) от тока промышленной частоты. Благодаря этому передатчик посылает высокочастотные импульсы с интервалами в полпериода промышленной частоты. Фаза этих импульсов соответствует фазе напряжения на выходе фильтра. При коротком замыкании вне зоны действия защиты передатчики, установленные на обоих концах линии, работают в разные полупериоды промышленной частоты, и поэтому импульсы, генерируемые на обоих концах, сдвинуты по фазе на полпериода.

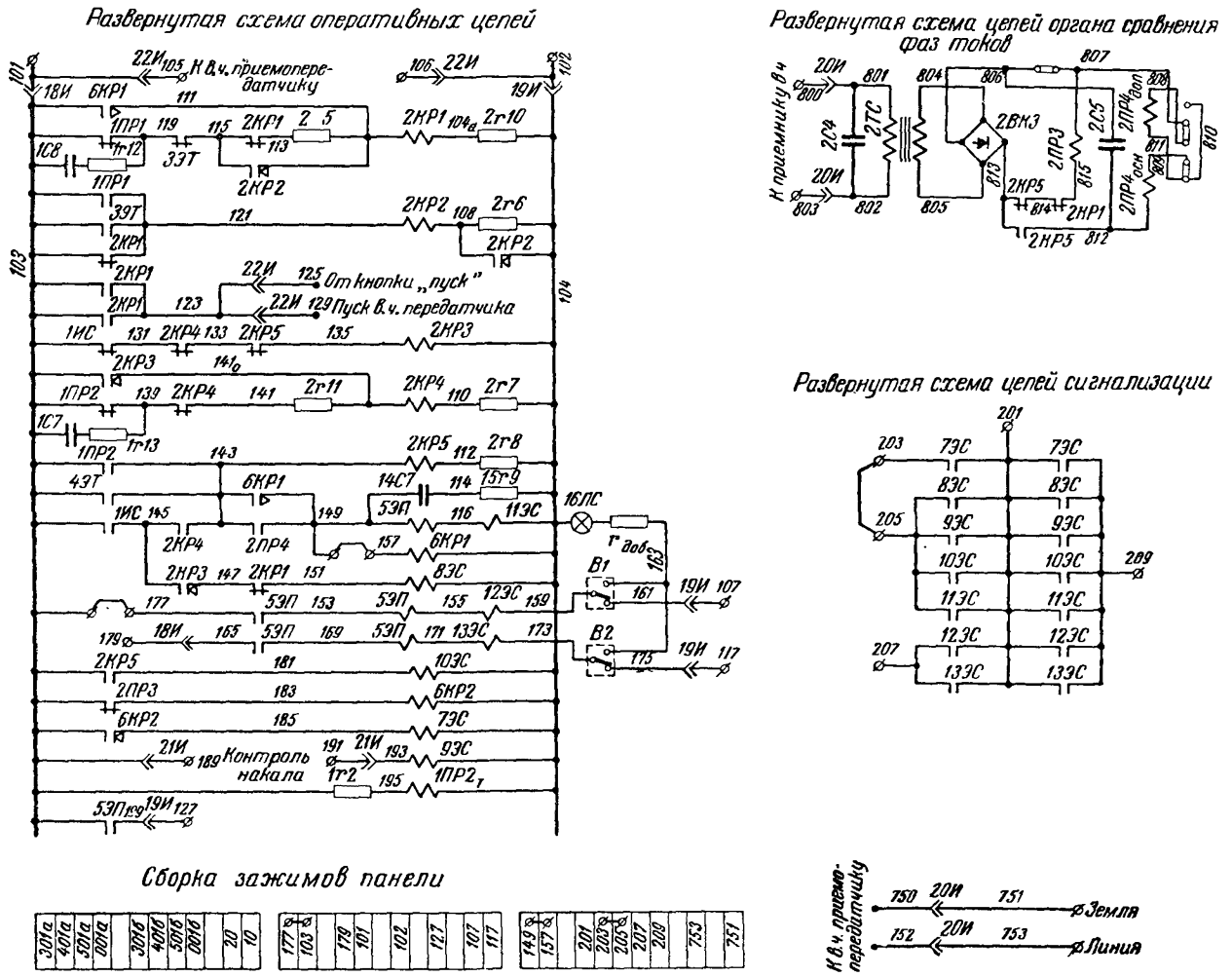


Рис. 3-142. Схемы цепей постоянного тока защиты ДФЗ-2 (контакты реле показаны для защиты, находящейся в рабочем положении).

При коротком замыкании в зоне действия защиты передатчики работают одновременно и посылаемые ими импульсы совпадают по фазе.

Такая работа защиты определяется схемой включения трансформаторов тока на концах линии по полярности.

Так как высокочастотные аппараты защиты работают на одной несущей частоте, то приемник каждого конца линии принимает импульсы как своего, так и удаленного высокочастотного передатчика.

Принцип работы защиты при коротких замыканиях в защищаемой зоне и вне ее показан на рис. 3-144.

Из рис. 3-144 следует, что при повреждении вне защищаемой зоны промежутки между импульсами токов высокой частоты стороны m заполняются высокочастотными импульсами, приходящими со стороны n, и наоборот (рис. 3-144,∂'). Поэтому на каждом конце линии на приемник непрерывно воздействует ток высокой частоты, вследствие чего отсутствует ток на выходе приемника (на входе трансформатора $2TC$) и в отключающем реле $2ПР4$. В этом случае защита не действует на отключение на обоих концах линии.

При повреждении в защищаемой зоне высокочастотные импульсы накладываются друг на друга, а промежутки между ними остаются незаполненными (рис. 3-144,∂''). Перерывы в приеме токов высокой частоты обеспечивают появление пульсирующего тока прямоугольной формы на выходе приемников обоих концов (рис. 3-144,$е''$), а следовательно, и переменного тока на выходе трансформатора $2TC$ и, наконец, в обмотке отключающего реле $2ПР4$ (рис. 3-144,$ж''$), вследствие чего защита срабатывает на отключение с обеих сторон защищаемой линии.

Величина тока в обмотке реле $2ПР4$ органа сравнения фаз токов зависит от угла сдвига фаз между суммарными векторами токов $\dot{I}_1+k\dot{I}_2$ на концах защищаемой линии.

В идеальном случае при коротком замыкании на защищаемой линии этот угол равен нулю, а ток в реле $2ПР4$ имеет максимальное значение; при коротком замыкании вне защищаемой линии в тех же идеальных условиях угол может быть принят равным 180° и ток в реле $2ПР4$ будет равен нулю.

Практически предельные значения этого угла ограничиваются условиями надежности блокировки защиты при внешних коротких замыканиях из-за искажения угла

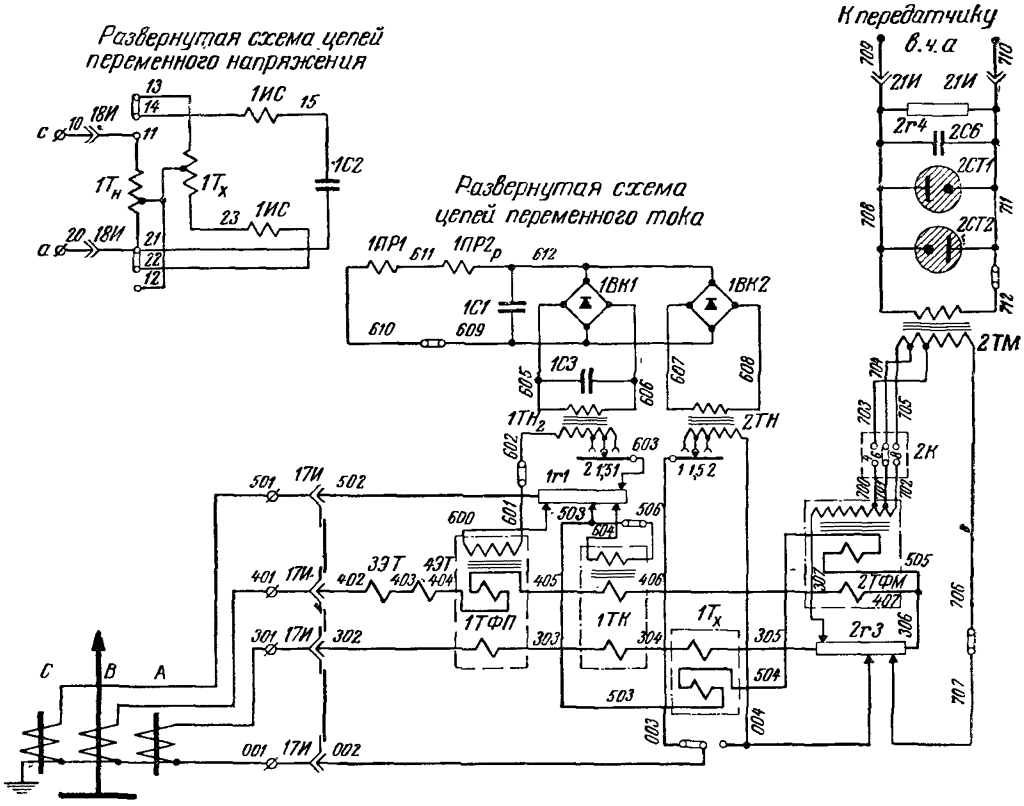


Рис. 3-143. Схемы цепей переменного тока защиты ДФЗ-2 (на сборке панели предусмотрены специальные зажимы для второго комплекта трансформаторов тока).

вследствие погрешностей трансформаторов тока и запаздывания в передаче высокочастотного сигнала с одного конца линии на другой (на 6° на каждые 100 *км* длины линии) за счет конечной скорости распространения электромагнитных волн.

Поэтому защите разрешается работать при углах сдвига между токами по концам защищаемой линии в пределах от 0 до $\pm(180—\beta°)$, где β — угол блокировки.

Зависимость тока в реле *2ПР4* от угла между токами I_1+kI_2 по концам защищаемой линии называется фазной характеристикой защиты, вид которой приведен на рис. 3-145. При построении характеристики условные положительные направления токов на обоих концах линии приняты от шин в сторону защищаемой линии.

Углы блокировки защиты имеют величину $\pm(45—60)°$ и регулируются путем различного включения дополнительной обмотки реле *2ПР4* по отношению к его основной обмотке, что выполняется перестановкой перемычек на шпильках комплекта аппаратов *2* с задней стороны панели, к которым подведены концы обмоток реле *2ПР4* (рис. 3-146).

Высокочастотный передатчик пускается от реле *1ПР1* и *3ЭТ*, а реле *1ПР2*, *4ЭТ* и *1ИС* подготавливают цепи отключения защиты. Реле *1ПР1* и *3ЭТ* более чувствительны, чем *1ПР2* и *4ЭТ*, поэтому при внешних к. з., сопровождающихся срабатыванием реле *1ПР2* или *4ЭТ* хотя бы на одном конце линии, обеспечивается надежный пуск высокочастотных передатчиков на ее обоих концах.

Обмотки *1ПР1* и $1ПР2_р$, пусковых реле включены через выпрямители *1ВК1* и *1ВК2* на выход насыщающихся трансформаторов соответственно $1ТН_2$ и $1ТН_0$.

Регулировка уставок по току I_2 и $3I_0$ производится переключением отпаек в первичных обмотках трансформаторов $1ТН_2$ и $1ТН_0$.

Чувствительность реле *1ПР2* определяется по кривым рис. 3-147.

Конденсатор *1С3* снижает токи небаланса в реле *1ПР1* и *1ПР2* от высших гармоник. Конденсатор *1С1* уменьшает пульсацию выпрямленного тока и улучшает таким образом работу реле. Фильтр тока обратной последовательности пускового органа состоит из трансформатора с воздушным зазором *1ТФП*, трансформатора *1ТК* и сопротивления *1r1*.

Трансформатор *1ТК* компенсирует токи нулевой последовательности. Реле *1ИС*, пускающее защиту при симметричных к. з. (если недостаточна чувствительность реле *4ЭТ*), представляет собой направленное реле сопротивления с характеристикой, смещенной в третий квадрант примерно на 10% величины сопротивления срабатывания при угле максимальной чувствительности (рис. 3-148).

Регулировка уставок реле *1ИС* производится изменением отпаек на автотрансформаторе $1Т_н$ (рис. 3-149).

Отпайки подбираются выражением

$$N = 100\frac{z_{мин}}{z_{ср}},$$

где $z_{мин}$ — 3,5 *ом* на фазу;

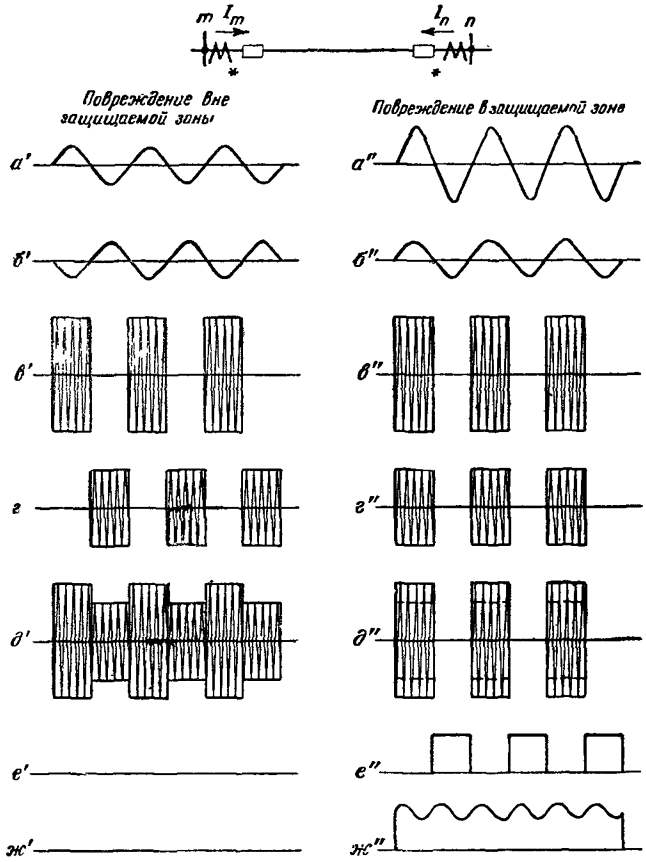


Рис. 3-144. Принцип действия защиты ДФЗ-2.
a', a'' — напряжение фильтра I_1+kI_2 конца m; $б'$, $б''$ — то же для конца n; $в'$, $в''$ — высокочастотные сигналы конца m; $г'$, $г''$ — то же для конца n; $д'$, $д''$ — высокочастотные сигналы на входе приемников обоих концов; $е'$, $е''$ — ток на входе приемников; $ж'$, $ж''$ — ток в обмотке отключающего реле 2ПР4.

z_{cp} — заданная уставка сопротивления срабатывания (по линии максимальной чувствительности от начала координат), *ом* на фазу.

В качестве токовых реле *3ЭТ* и *4ЭТ* используются соответственно реле типов ЭТ-523/10 и ЭТ-523/15. Ток срабатывания реле *4ЭТ* принимается равным 1,4 тока срабатывания реле *3ЭТ*.

Орган сравнения фаз токов содержит два поляризованных реле *2ПР3* и *2ПР4*, подключенных через выпрямитель *2ВК3* и трансформатор *2ТС* к приемнику высокочастотного аппарата. Конденсатор *2С4* облегчает трансформацию напряжения основной гармоники 50 *гц*, а *2С5* снижает пульсацию выпрямленного тока; отключающее реле *2ПР4* подключается к схеме сравнения фаз только при коротких замыканиях, в нормальном же режиме к схеме сравнения фаз подключено реле *2ПР3*, которое обеспечивает вызов дежурного при ежедневной проверке канала. При коротком замыкании сначала отключается от схемы реле *2ПР3* контактами реле *2КР1*, а затем подключается реле *2ПР4* контактами реле *2КР5*.

Основное назначение остальных элементов схемы:

Реле *2КР1* — осуществляет пуск высокочастотного передатчика.

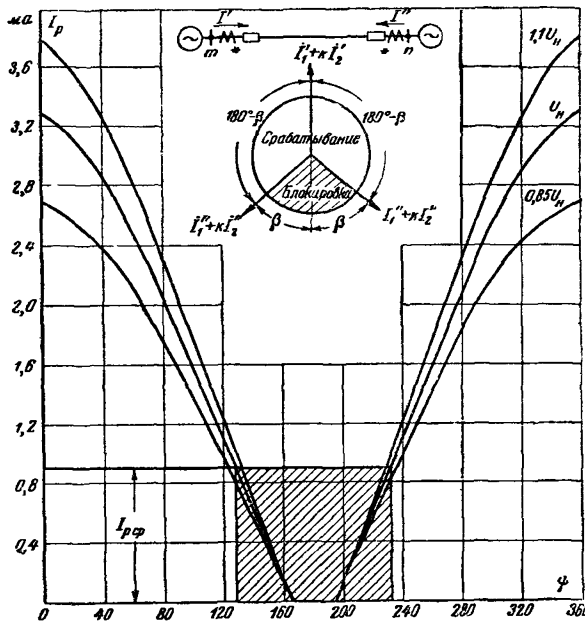


Рис. 3-145. Фазные характеристики защиты ДФЗ-2 при различном напряжении постоянного тока (β — угол блокировки).

Реле *2КР2* — производит останов высокочастотного передатчика, спустя 0,5—0,6 *сек* после отключения короткого замыкания подачей напряжения на обмотку реле *2КР1*.

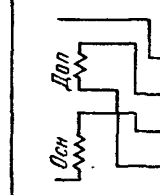
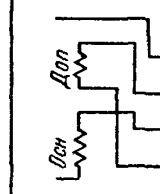
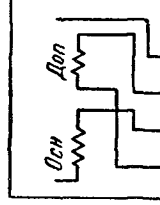
Положение перемычек и соединение обмоток реле 2ПР4	*Угол блокировки защиты*
	$\beta \approx \pm 45°$
	$\beta \approx \pm 52°$
	$\beta \approx \pm 60°$

Рис. 3-146. Положение перемычек на шпильках комплекта аппаратов 2 при различных уставках угла блокировки защиты.

Реле *2КР3* — осуществляет выдержку времени (*0,2—0,25 сек*), на которую вводится в работу отключающая цепь защиты контактом реле *2КР4*.

Реле *2КР4* — подготавливает цепь отключения защиты.

Реле *2КР5* — переключает орган сравнения фаз токов с реле *2ПР3* (совместно с контактом реле *2КР1*) на реле *2ПР4*. Контакт реле *2КР5* в цепи обмотки *2КР3*

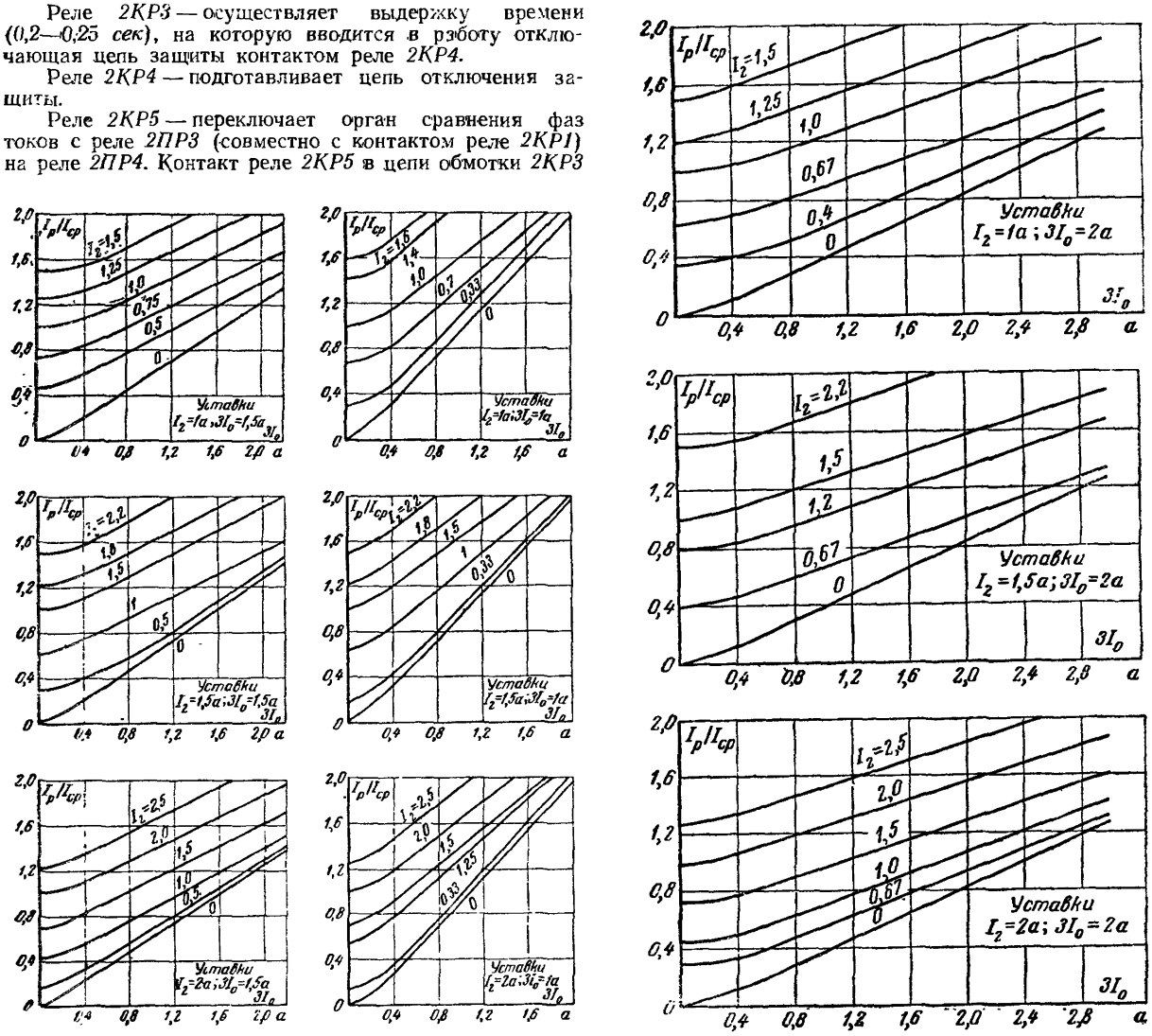


Рис. 3-147. Характеристики чувствительности пускового органа (реле 1ПР2) токов обратной и нулевой последовательностей ($I_р$ — ток в обмотке реле 1ПР2; $I_{ср}$ — ток срабатывания реле 1ПР2; $I/I_{ср}$ — коэффициент чувствительности. Уставки I_2 или $3I_0$ — положение накладки на переключателе чувствительности по I_2 и $3I_0$).

предотвращает пульс-пару *2КР3—2КР4* при внешних несимметричных коротких замыканиях, отключаемых с выдержкой времени.

Реле *5ЭП* — выходное реле защиты, действие которого предусмотрено на два выключателя. Реле имеет одну шунтовую и две сериесные обмотки (применяется реле типа РП-233, а в более ранних выпусках — ЭП-132).

Реле *6КР1* — при срабатывании защиты возвращает реле *2КР1*, а следовательно, останавливает работу высокочастотного передатчика вслед за работой защиты на отключение, а не спустя время отпадания реле *2КР2*. Этим самым ускоряется действие защиты на противоположном конце линии, когда защита работает каскадно и противоположный конец отключается вторым. После отключения выключателя на данном конце немanипулированный сигнал (немanипулирован из-за того, что нет тока в линии, отключенной с данного конца) блокировал бы действие защиты с противоположного конца до отпадания реле *2КР1* (0,5—0,6 *сек*). Так как после остановки высокочастотного передатчика (от реле *6КР1*) реле *2ПР4* может возвратиться в исходное положение раньше, чем отключится короткое замыкание, то контакт *2ПР4* в цепи отключения шунтируется контактом *6КР1*.

Время возврата реле *6КР2* равно 0,2—0,25 *сек*, а срабатывания 0,03—0,04 *сек*.

Реле *6КР2* и *7ЭС* служат для вызова дежурного при проверке исправности высокочастотного канала.

Реле *8ЭС* контролирует цепи напряжения.

Реле *9ЭС* контролирует цепи накала ламп высокочастотного аппарата.

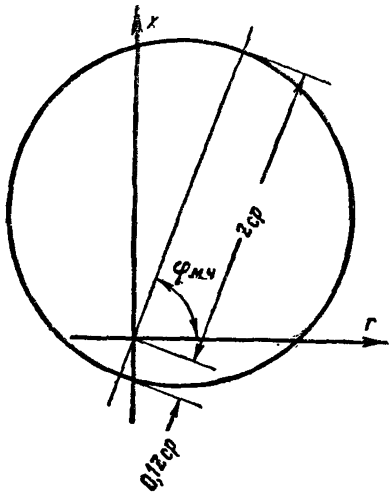


Рис. 3-148. Угловая характеристика реле *1ИС*

Реле *10ЭС* сигнализирует пуск защиты.

Реле *11ЭС* указывает на срабатывание защиты.

Реле *12ЭС* и *13ЭС* сигнализируют действие защиты на отключение выключателей *В1* и *В2*.

Конструктивно защита выполнена на отдельной панели (рис. 3-150), вся аппаратура смонтирована в ко-

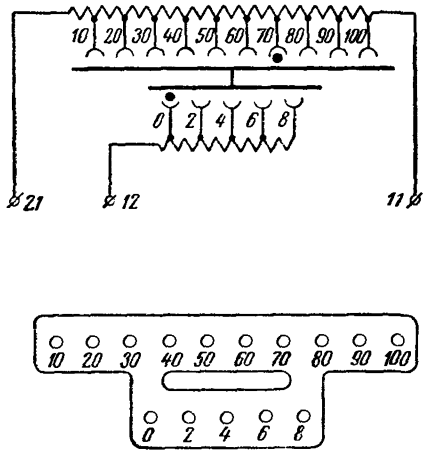


Рис. 3-149. Схема соединений автотрансформатора $1Т_н$ и его регулировочная панель.

жухах с лицевой стороны, на которой также размещается поставляемый отдельно высокочастотный аппарат типа *ПВЗК*. Основные узлы защиты смонтированы в комплектах *1* и *2* (на цоколях и на специальных гетинаксовых платах).

3-50. КОМПЛЕКТ ЗАЩИТЫ РОТОРА ГЕНЕРАТОРА ТИПА КЗР-1

КЗР-1 применяется для защиты синхронного генератора (компенсатора) от замыканий на землю в двух точках цепи возбуждения (ротора).

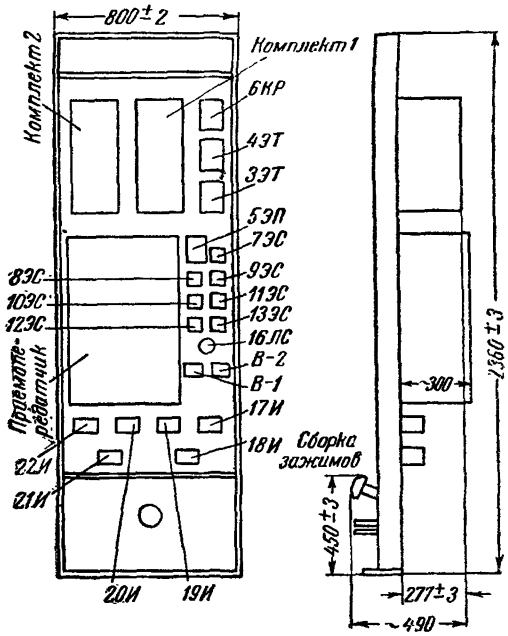


Рис. 3-150. Расположение аппаратуры на панели защиты типа ДФЗ-2 и ее размеры.

Защита ротора подключается к цепям возбуждения генератора при появлении устойчивого замыкания на землю в одной точке.

Схема защиты ротора (рис. 3-151) представляет собой мостик. Движок потенциометра *1* устанавливается по вольтметру *2* на минимум напряжения, благодаря чему через диагональ моста, состоящую из движка потенциометра, накладки *3*, обмотки *1* реле *4*, дросселя *5* и первичной обмотки вспомогательного трансформатора *6*, постоянный ток практически не проходит.

В случае появления замыкания на землю в обмотке ротора во второй точке равновесие моста нарушается, через обмотку *1* реле *4* пойдет постоянный ток и реле сработает.

Вследствие неравномерности воздушного зазора в расточке статора генератора в роторе наводятся э. д. с. переменного тока, которые могли бы вызвать неправильное срабатывание реле *4*. Для исключения этого в диагональ моста в цепь реле включены дроссель *5* и трансформатор *6*. Дроссель снижает величину переменной составляющей, а трансформатор *6* подает в обмотку *II* реле *4* переменную составляющую (не погашенную дросселем),

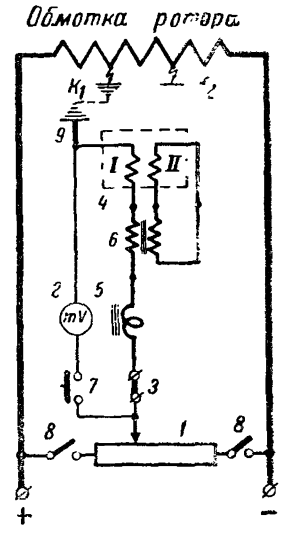


Рис. 3-151. Схема защиты ротора типа КЗР-1.

Таблица 3-118

Технические данные защиты типа ДФЗ-2

Наименование параметра		Величина		
$U_{ном}$ при 50 *гц*, *в*		100		
$I_{ном}$ при 50 *гц*, *а*		5		
$U_{ном}$ постоянного тока, *в*		100 или 220		
$P_{потр}$ в нормальном режиме	цепей переменного тока при 5 *а*, *ва* на фазу	Не более 25		
	цепей переменного напряжения при 100 *в*, *ва* на фазу	Не более 25		
	цепей постоянного тока (без высокочастотного аппарата):			
	для 110 *в*, *вт*	25		
	для 220 *в*, *вт*	30		
Время термической устойчивости реле и аппаратов к 110% номинальных величин переменного и постоянного тока и напряжения в нормальном режиме		Длительно		
$t_{ср}$ защиты, включая срабатывание выходного реле *5ЭП*, *сек* (для трехфазного короткого замыкания при токе не менее 5 *а* и сопротивлении не менее 0,6 $z_{ср}$)		Не более 0,1		
Удерживающие обмотки выходного реле *5ЭП* имеют исполнения (одинаковые для обеих обмоток):				
Ток удерживания, *а*		1	2	4
Сопротивление, *ом*		3	0,8	0,3
$I_{ср}$ реле *1ПР2*:				
по току обратной последовательности при отключенном $1ТН_0$, *а*		1; 1,5; 2		
при подключенном $1ТН_0$ (уставка на $1ТН_2$ равна 1,5) по току однофазного питания		1; 1,5; 2		
Кратность чувствительности пускового реле *1ПР1* (по сравнению с реле *1ПР2*):				
при включенной тормозной обмотке реле *1ПР2*		2		
при отключенной (нарушенной) тормозной обмотке реле *1ПР2*		1,45		
Направленное реле сопротивления *1ИС*:				
$\varphi_{м.ч}$		65—75°		
Ток точной работы (ошибки реле не более 15%), *а*		2,5		
$z_{ср.\,мин}$ при угле максимальной чувствительности, *ом* на фазу		3,5		
Орган манипуляции высокочастотным передатчиком:				
Значения коэффициента k фильтра манипуляции $I_1 + kI_2$		4	6	8
Чувствительность органа манипуляции при токах на входе фильтра	прямой последовательности, *а*	1,1	1,6	2
	обратной последовательности, *а*	0,28	0,27	0,25
Величины угла блокировки защиты (с точностью до ± 15%)		±45°	±52°	±60°
Сопротивление изоляции между цепями и на корпус, *Мом*		Не менее 5		
Электрическая прочность изоляции всех цепей относительно корпуса панели при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		1 750		

Таблица 3-119

Основные технические данные реле и аппаратов, входящих в защиту типа ДФЗ-2

Наименование	Обозначение и тип		Технические данные	
			Исполнение 110 *в*	Исполнение 220 *в*
Поляризованное реле	*1ПР1*	РП-7	Основная (внутренняя) обмотка $w_1 = 8\,800$, ПЭЛ-0,1, $r = 730$ *ом* Дополнительная обмотка (наружная) $w_2 = 4\,200$, ПЭЛ-0,1, $r = 600$ *ом*. Обмотки включены последовательно	
	1ПР2		Рабочая обмотка (внутренняя) $w_р = 8\,800$, ПЭЛ-0,1, $r = 730$ *ом*. Тормозная (наружная) $w_т = 4\,200$, ПЭЛ-0,1, $r = 600$ *ом*. Обмотка $w_т$ включена в цепь постоянного тока через сопротивление *1r2*	
Реле сопротивления	*1ИС*		Обмотка ярма $w_1 = 1\,750 \times 4$, ПЭЛ-0,25. Обмотка полюсов $w_2 = 1\,500 \times 2$ ПЭЛ-0,21	
Трансформатор	*1Т*$_н$		$w_1 = 800$, ПЭЛ-0,64, отводы от каждых 80 витков $w_2 = 64$, ПЭЛ-0,64, отводы от каждых 16 витков	
	1Т$_к$		Первичные $w_1 = w_2 = 16$, ПБД-1,45 Вторичная $w_3 = 1\,070$, ПЭЛ-0,38, отвод от 900 витков	
	1ТН$_2$		Первичная $w_1 = 56$, ПБД-1,16, отводы от 23-го и 33-го витков Вторичная $w_2 = 5\,000$, ПЭЛ-0,2	
	1ТН$_0$		Первичная $w_1 = 29$, ПБД-1,16, отводы от 12-го и 18-го витков Вторичная $w_2 = 5\,000$, ПЭЛ-0,2	
	1ТФП		Первичные $w_1 = w_2 = 12$, ПБД-1,68 Вторичная $w_3 = 33$, ПБД-1,68	
	1ТК		Первичные $w_1 = w_2 = 32$, ПБД-1,81 Вторичная $w_3 = 32$, ПБД-1,81	
Конденсатор	*1С1, 1С3*	МБГП ГОСТ 7112-52	$C = 1$ *мкф* $\pm$ 10%, $U_{раб} = 200$ *в*	
	1С2		$C = 2$ *мкф* $\pm$ 10%, $U_{раб} = 600$ *в*	
	1С7 *1С8*	КВГ-И ГОСТ 6118-52	$C = 0{,}05$ *мкф* $\pm$ 10%, $U_{раб} = 400$ *в*	
Сопротивление	*1r1*	Проволочное	$r = 0{,}29$—$0{,}325$ *ом*, проволока константановая	
	1r2 *1r12*	ВС-1 ГОСТ 6562-53	$r = 39$ *ком*, 1 *вт*	$r = 82$ *ком*, 1 *вт*
	1r13		$r = 47$ *ом* $\pm$ 10%, 1 *вт*	
Выпрямитель купроксный	*1ВК1* *1ВК2*	ВК-20-6	—	
Полчризованное реле	*2ПР3* *2ПР4*	РП-7	Основная обмотка (наружная) $w_1 = 25\,000$, ПЭЛ-0,06, $r = 8\,000$ *ом* Дополнительная (внутренняя) $w_2 = 4\,000$, ПЭЛ-0,06, $r = 600$ *ом*, обмотка w_2 в реле *2ПР3* не используется	
Реле кодовое	*2КР1* *2КР4*	КДР-1	$w = 20\,000$, ПЭЛ-0,12	$r = 2\,000$ *ом*
	2КР2	КДР-5М	$w = 17\,000$, ПЭЛ-0,1; $r = 3\,000$	$w = 2\,200$, ПЭЛ-0,12, $r = 5\,800$ *ом*
	2КР3	КДР-3М	$w = 37\,000$, ПЭЛ-0,08, $r = 9\,000$ *ом*	$w = 55\,000$, ПЭЛ-0,07, $r = 17\,000$ *ом*
	2КР5	КДР-1	$w = 20\,000$, ПЭЛ-0,12, $r = 2\,000$ *ом*	$w = 37\,000$, ПЭЛ-0,08, $r = 9\,000$ *ом*

Продолжение табл. 3-119

Наименование	Обозначение или тип		Технические данные	
			Исполнение 110 *в*	Исполнение 220 *в*
Трансформатор	*2ТМ*		Первичная $w_1 = 72$, ПБД-1,35, отводы от 56-го и 67-го витков Вторичная $w_2 = 9\,300$, ПЭЛ-0,14	
	2ТФМ		Первичные $w_1 = w_2 = 6$, ПБД-1,68 Вторичная $w_3 = 86$, ПБД-1,35, отводы от 65-го и 79-го витков	
	2ТС		Первичная $w_1 = 4\,200$, ПЭЛ-0,2 Вторичная $w_2 = 4\,200$, ПЭЛ-0,2	
Сопротивление	*2r6, 2r7, 2r8*	ПЭ-15 ГОСТ 6613-53	$r = 2\,000$ *ом*, 15 *вт*	$r = 5\,000$ *ом*, 15 *вт*
	2r5		$r = 2\,000$ *ом*, 15 *вт*	$r = 4\,000$ *ом*, 15 *вт*
	2r10		$r = 1\,000$ *ом*, 15 *вт*	$r = 4\,000$ *ом*, 15 *вт*
	2r11		$r = 1\,000$ *ом*, 15 *вт*	$r = 2\,500$ *ом*, 15 *вт*
	2r3	Проволочное	$r = 0{,}29$—$0{,}325$ *ом*, проволока — константан	
	2r4	ВС-10 ГОСТ 6562-53	$r = 39\,000$ *ом* $\pm$ 10%, 1 *вт*	
Конденсатор	*2С4*	КБГ-И ГОСТ 6118-52	$C = 0{,}05$ *мкф* $\pm$ 10%; $U_{раб} = 400$ *в*	
	2С5	МБГП ГОСТ 7112-52	$C = 1$ *мкф* $\pm$ 10%; $U_{раб} = 200$ *в*	
	2С6	КСГ-2 ГОСТ 6116-52	$C = 0{,}1$ *мкф* $\pm$ 2%, $U_{раб} = 500$ *в*	
Стабиливольт	*2СТ1* *2СТ2*	СГ-4С ЗТУ 241-41	Напряжение зажигания 150—180 *в*	
Купроксный выпрямитель	*2ВК3*	—	В каждом плече моста выпрямитель типа ВК-07-8	
Реле токовое	*3ЭТ*	ЭТ-523/10	$w = 10 \times 2$, ПБД-1,95	
	4ЭТ	ЭТ-523/15	$w = 7 \times 2$, ПБД-2,26	
Реле кодовое	*6КР1* *6КР2*	КДР-3м	w=37 000, ПЭЛ-0,08, r=9 000 *ом*	w=52 000, ПЭЛ-0,07, r=17 000 *ом*
Реле промежуточное	*5ЭП*	РП-233	Шунтовая w_1=7 400, ПЭВ2-0,14, r=820 *ом*	Шунтовая w_2=14 500, ПЭВ2-0,1, r=3 150 *ом*
			Сериесные $w_2 = w_3 = 300$, ПЭВ2-0,41, $r \leqslant 3$ *ом* (на ток удерживания 1 *а*) $w_2 = w_3 = 150$, ПЭВ2-0,59, $r \leqslant 0{,}8$ *ом* (на ток удерживания 2 *а*) $w_2 = w_3 = 75$, ПЭВ2-0,86, $r \leqslant 0{,}3$ *ом* (на ток удерживания 4 *а*)	
		(ЭП-132)	Шунтовая $w_1 = 6\,600$, ПЭЛ-0,17, $r = 600$ *ом*	Шунтовая $w_1 = 12\,200$, ПЭЛ-0,12, r=2 300 *ом*
			Сериесные $w_2 = w_3 = 340$, ПЭЛ-0,49, $r = 3$ *ом* (на ток удерживания 1 *а*) $w_2 = w_3 = 170$, ПЭЛ-0,69, $r \leqslant 0{,}8$ *ом* (на ток удерживания 2 *а*) $w_2 = w_3 = 85$, ПЭЛ-1,0, $r \leqslant 0{,}25$ *ом*	

Продолжение табл. 3-119

Наименование	Обозначение и тип		Технические данные	
			Исполнение 110 *в*	Исполнение 220 *в*
Реле сигнальное	*7ЭС, 8ЭС, 9ЭС, 10ЭС*	ЭС-21	ЭС-21/110 $w = 32\,000$, ПЭЛ-0,07	ЭС-21/220 $w = 61\,000$, ПЭЛ-0,05, $r = 28\,000$ *ом*
	11ЭС		ЭС-21/0,1, $w = 1\,800$, ПЭЛ-0,35, $r = 18$ *ом*	ЭС-21/0,05, $w = 3\,600$, ПЭЛ-0,25, $r = 70$ *ом*
	12ЭС 13ЭС		ЭС-21/0,5, $w = 360$, ПЭЛ-0,8, $r = 0,7$ *ом* (устанавливается при токе сериесной обмотки *5ЭП* 1 *а*) ЭС-21/1, $w = 180$, ПЭЛ-0,1, $r = 0,2$ *ом* (устанавливается при токе сериесной обмотки *5ЭП* 2 и 4 *а*	
Конденсатор	*14С7*	КБГ-МП ГОСТ 6118-52	$C = 0,5$ *мкф* $\pm$ 10%, $U_{раб} = 600$ *в*	
Сопротивление	*15r9*	ПЭ-20 ГОСТ 6513-53	$r = 500$ *ом*, 20 *вт*	
Лампа сигнальная	*16ЛС*	ЛС-5	$U_{раб} = 24$ *в*, $r_{доб} = 1\,000$ *ом*	$U_{раб} = 24$ *в*, $r_{доб} = 2\,000$ *ом*
Реле минимального напряжения	ЭН-529/160		Внутренняя—2×1 275, ПЭЛ-0,08; наружная—2×1885, ПШДК-0,15 Реле поставляется комплектно в качестве запасного аппарата, но на панели не установлено, для установки предусмотрены отверстия на цоколе аппарата *1*	

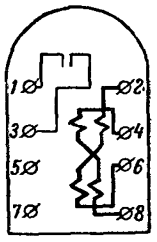


Рис. 3-152. Схема внутренних соединений реле ЭН-524/МР.

которая компенсирует переменную составляющую в рабочей обмотке *I*, так как находится с ней в противофазе.

Кнопка *7* служит для включения вольтметра, рубильник *8*— для подключения защиты ротора к цепям возбуждения. В точке *9* должна быть предусмотрена специальная щетка для подключения защиты к валу ротора. В комплект защиты ротора КЗР-1 входят следующие элементы:

Реле напряжения типа ЭН-524/МР (*4* — на рис. 3-151).

Трансформатор тока типа ВУ-25Т (*6*—на рис. 3-151).

Дроссель типа ВУ-25Д (*5* — на 3-151).

Реле напряжения имеет один замыкающий контакт, схема внутренних соединений приведена на рис. 3-152, размеры реле такие же, как у реле ЭН-524.

Ток срабатывания реле можно при необходимости изменять поводком.

Трансформатор тока ВУ-25Т имеет коэффициент трансформации, равный 1. Число витков каждой обмотки равно 450.

Трансформатор и дроссель не имеют цоколя и кожуха и монтируются непосредственно на панели при

Таблица 3-120

Технические данные защиты типа КЗР-1

Наименование	Величина		
	ЭН-524/МР	ВУ-25Т	ВУ-25Д
$I_{ср}$ реле при протекании постоянного тока по обмотке *I*, *а*	0,07	—	—
Напряжение на обмотке *I* при срабатывании, *в*	1,7	—	—
$k_в$	0,5	—	—
r (постоянному току), *ом*	Каждой обмотки 25	—	8,5
z (при 50 *гц*), *ом*	40	—	5 000 (при токе 0,04 *а*)
$I_{длит}$ постоянного тока, *а*	—	0,2 (на вторичную обмотку включена обмотка II реле)	0,2

помощи четырех угольников, прикрепленных к магнитопроводу.

Габаритные и установочные размеры ВУ-25Т и ВУ-25Д такие же, как у автотрансформатора тока ВУ-25Б.

3-51. УСТРОЙСТВО ПОВТОРНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ ТИПОВ РПВ-58, РПВ-258 и РПВ-358

Устройства применяются в схемах трехфазного АПВ на подстанциях, оборудованных выключателями с дистанционным управлением, в том числе:

РПВ-58 в схемах однократного АПВ и РПВ-258 в схемах двухкратного АПВ на подстанциях с оперативным постоянным током 110 и 220 *в*;

РПВ-358 в схемах однократного АПВ на подстанциях с оперативным переменным током (включается через блок питания типа БПН-100) или с оперативным постоянным током 24 и 48 *в*.

Устройство типа РПВ-58 состоит из следующих элементов (рис. 3-153, 3-154):

а) реле времени *1РВ*, создающего выдержку времени от момента пуска АПВ до замыкания цепи катушки включения выключателя (*КВ*);

б) промежуточного реле *1РП*, дающего импульс на включение выключателя;

в) конденсатора *1С*, обеспечивающего однократность действия АПВ;

г) зарядного сопротивления *1r2*, служащего для ограничения скорости заряда конденсатора;

д) добавочного сопротивления *1r1*, предназначенного для обеспечения термической устойчивости реле времени *1РВ*;

е) сопротивления *1r3*, через которое происходит разряд конденсатора помимо обмотки реле *1РП*; сопротивление *1r3* используется при наличии защит, действие которых не должно сопровождаться АПВ; в этом случае минус от защиты должен подаваться на зажим *8* (запрещение АПВ).

Пуск реле времени *1РВ* устройства типа РПВ-58 осуществляется замыкающим контактом реле *4РП*, которое в свою очередь срабатывает при переключении блок-контакта выключателя (замыкается блок-контакт *В1*) в результате действия защит (контакт *РЗ*) или при отключении от ключа управления (*КУ*).

При замыкании контакта *1РВ* происходит разряд ранее заряженного конденсатора *1С* на шунтовую обмотку реле *1РП*, вызывая его кратковременное срабатывание. Реле *1РП* срабатывает, дает импульс на включение выключателя и само удерживается через свою последовательную обмотку до размыкания блок-контакта *В1*.

После размыкания блок-контакта *В1* возвращаются в исходное состояние реле *4РП* и *1РВ*. Готовность АПВ к повторному действию наступает через время, необходимое для заряда конденсатора до достаточного уровня напряжения. Это время определяется величиной сопротивления *1r2* и лежит в пределах 15—20 *сек*.

Реле *5РП* предотвращает многократную работу выключателя при неисправностях цепей включения (например, при приваривании контакта $1РП_1$). Реле *5РП*, сработав при обтекании током последовательной обмотки (в цепи *КО*), удерживается в сработанном положении и блокирует цепь включения контактом $5РП_2$.

Добавочное сопротивление *6r* предназначено для предотвращения ложного включения выключателя при повреждении обмотки реле *4РП* в случае ее пробоя или закорачивания.

При необходимости проверки синхронизма (рис. 3-153,б) предусматриваются реле контроля синхронизма *7РС* и реле минимального напряжения *8РН*. При включенном переключателе *9ПУ* осуществляется проверка отсутствия напряжения или наличия синхронизма, при отключенном *9ПУ* — только проверка синхронизма.

Устройство типа РПВ-258 аналогично устройству типа РПВ-58 (рис. 3-155), где в качестве элемента *1* применено устройство типа РПВ-258, а остальные элементы и их обозначение соответствуют элементам схемы рис. 3-153,б и табл. 3-121.

Устройство типа РПВ-258 имеет следующие отличия от РПВ-58:

а) Для осуществления первого цикла АПВ используется проскальзывающий контакт реле времени $1РВ_2$, а второго цикла — конечный упорный контакт реле $1РВ_3$.

б) Сигнализация работы АПВ в первом и втором циклах производится соответственно указательными реле $1РУ_1$ и $1РУ_2$.

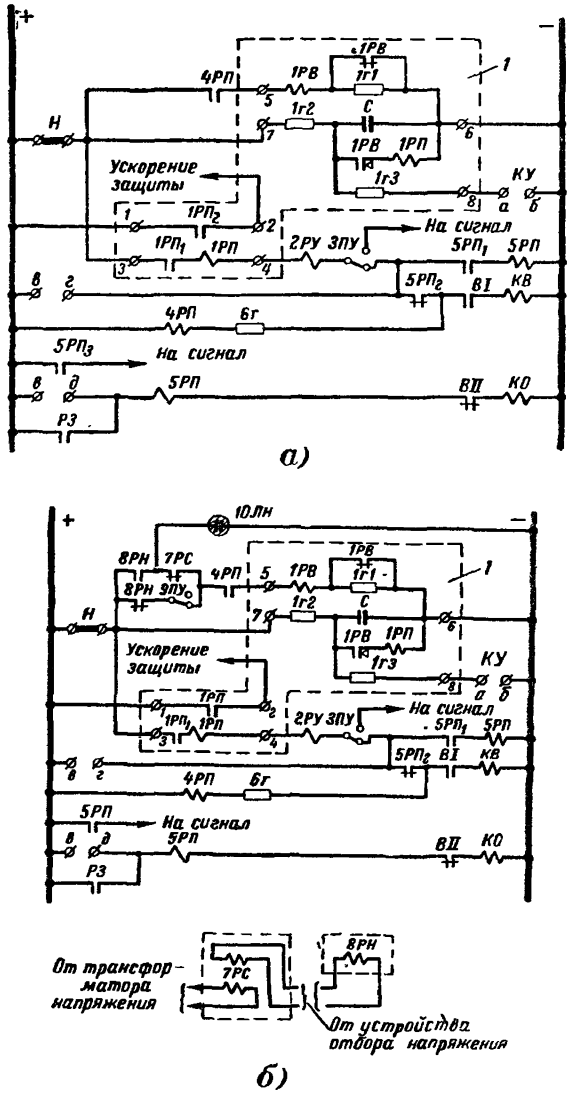


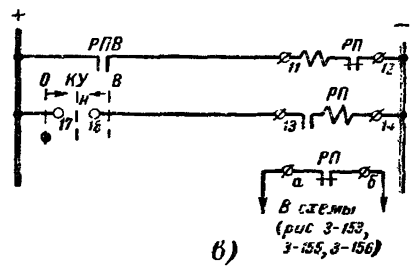
Рис. 3-153. Включение устройства типа РПВ-58 в схему АПВ.
а — для линий с односторонним или двусторонним питанием без необходимости проверки синхронизма; *б* — для линий с двусторонним питанием при необходимости проверки синхронизма.

Вид фланца (спереди) и схема пакетов (сзади) в положении отключено					
Тип рукоятки и пакета		П I	1а		4
Номера контактов и их условное обозначение в схемах			5–7	6–8	9–12	10–11
Положение ключа и условное обозначение	Отключено (О)					
	Предварительно включено ($В_1$)					
	Включить ($В_2$)					
	Включено (В)					
	Предварительно отключено ($О_1$)					
	Отключить ($О_2$)					
Обозначение контактов КУ в схемах рис. 3-153, 3-155, 3-156				а–б	в–г	в–д

а)

Вид фланца (спереди) и схема пакетов (сзади) в нейтральном положении						
Тип рукоятки и пакета		Л2 XI	г		б	
Номера контактов и их условное обозначение			О–Н–В	О–Н–В	О–Н–В	О–Н–В
Положение ключа и условное обозначение	Отключить (О)					
	Нейтральное (Н)					
	Включить (В)					
Обозначение контактов КУ в схемах рис 3-153, 3-155, 3-156			в–г	в–д	а–б (рис. 3-154в)	—

б)



в)

Рис. 3-154. Схемы и диаграммы используемых в схемах АПВ пакетов ключей управления.
а — ключа управления типа КСВФ 1а, 4, 6а, 40, 20, 20/ПІ; *б* — ключа типа 54 КВ 1126/Л2XI; *в* — схема включения реле фиксации РП включенного положения выключателей; РПВ — контакт реле положения включено (в обесточенном положении); РП — реле типа РП-352.

в) Устройство имеет два конденсатора *1С1* и *1С2* и соответственно по два зарядных сопротивления (*1r2* и *1r3*) и разрядных (*1r4* и *1r5*) для запрещения действия АПВ от защит, после которых не допускается действие АПВ. В этом случае минус через контакты блокирующих АПВ защит должен быть подведен к зажимам *7* и *8* РПВ-258.

г) Заряд конденсатора *1С1* через сопротивление *1r2* осуществляется через обмотку реле времени *1РВ* (со стороны минуса) и может происходить только при разомкнутом контакте реле *4РП*.

Двукратное АПВ действует следующим образом. При срабатывании реле *4РП* пускается реле времени *1РВ*, при замыкании проскальзывающего контакта $1РВ_2$ конденсатор *1С1* разряжается через обмотку реле *1РП* и указательное реле $1РУ_1$. Реле *1РП* срабатывает и осуществляет включение выключателя. При неуспешном АПВ в первом цикле защита вновь отключает выключатель, при этом повторно запускается реле *1РВ*, замыкание контакта $1РВ_2$ не приводит к срабатыванию реле *1РП*, так как конденсатор *1С1* не успевает зарядиться. Реле *1РП* срабатывает при замыкании упорного коятакта реле времени $1РВ_3$ в результате разряда конденсатора *1С2*, при этом срабатывает реле $1РУ_2$.

Неуспешное действие АПВ во втором цикле вновь приводит к пуску устройства РПВ-258, однако реле *1РП* не работает, так как оба конденсатора не успевают зарядиться. При этом реле *4РП* и устройство РПВ-258 находятся во включенном состоянии до момента квити-

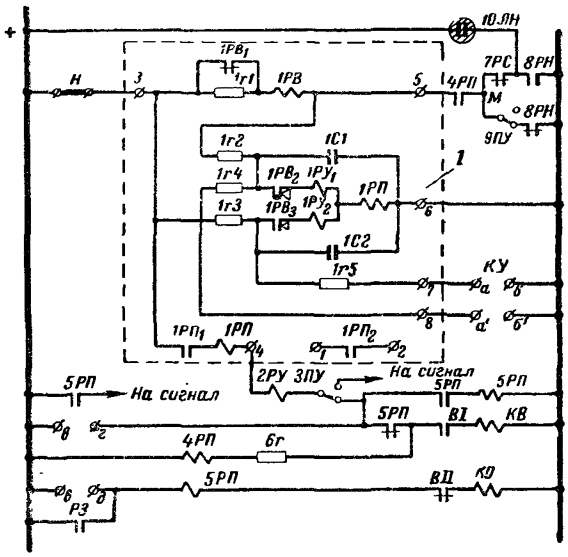


Рис. 3-155. Включение устройства типа РПВ-258 в схему двукратного АПВ для линий с двусторонним питанием при необходимости контроля синхронизма.

В схеме АПВ для линии с односторонним питанием (или двусторонним питанием без необходимости контроля синхронизма) будут отсутствовать элементы *7РС*, *8РН*, *9ПУ*, *10ЛН*; точка *М* схемы должна быть соединена с минусом.

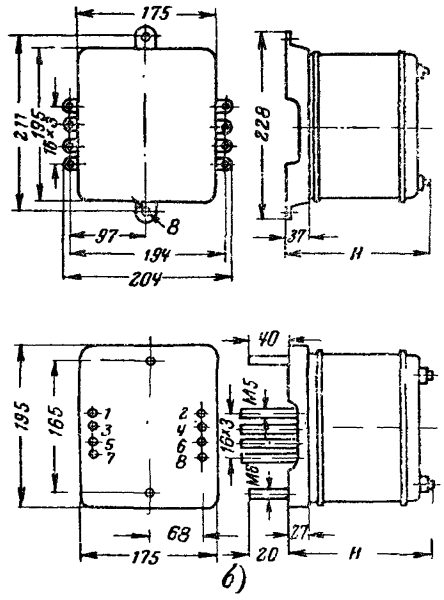


Рис. 3-157. Размеры устройств типов РПВ-58, РПВ-258 и РПВ-358.

а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение. Размер *Н* для РПВ-58 и РПВ-358 равен 180 *мм*, а для РПВ-258 — 220 *мм*.

рования ключа управления *КУ*. Контакт реле *4РП* в схеме АПВ присоединен к минусу, что предотвращает заряд конденсатора *1С1* и неправильное (третье) включение выключателя по цепи первого цикла при возврате реле времени в исходное состояние после квитирования ключа *КУ*.

Устройство типа РПВ-358 аналогично устройству РПВ-58 и отличается от него только наличием выпрямителя *1В* типа ДГ-Ц27, имеющего достаточно большое сопротивление в обратном направлении, в цепи заряда конденсатора *1С1* (рис. 3-156), который предотвращает разряд конденсатора *1С1* при понижениях напряжения на блоке питания при близких к. з.

Реле *11РП* (типа РП-23) необходимо для разделения цепей.

Для предупреждения отказа блокировки от многократного срабатывания выключателя при близких к. з. реле *5РП* выполнено с замедлением (типа РП-254).

Устройства типов РПВ-58, РПВ-258 и РПВ-358 монтируются на металлическом цоколе и закрываются застекленным кожухом, общий вид и размеры которого приведены на рис. 3-157.

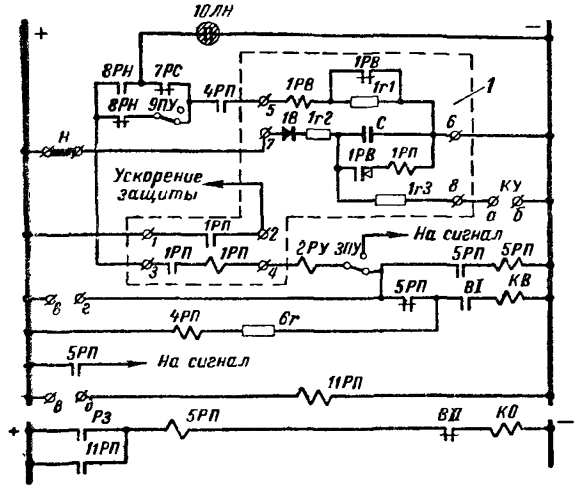


Рис. 3-156. Включение устройства типа РПВ-358 в схему однократного АПВ для линий с двусторонним питанием (при необходимости контроля синхронизма) на подстанциях с оперативным переменным током.

3-52. ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО ТИПА УЗ-400

УЗ-400 применяется для заряда конденсаторов, энергия которых используется для действия отключающих и включающих катушек выключателя.

Зарядное устройство состоит из трансформатора напряжения *ТН* (рис. 3-158), первичная обмотка которого имеет две секции, соединяемые последовательно при напряжении 220 *в* и параллельно при напряжении 110 *в*, купроксного выпрямителя *ВК*, ограничительного сопротивления *r2*, реле *ПР* и *РН*. Реле *РН* предотвращает разряд конденсаторов, подключаемых к за-

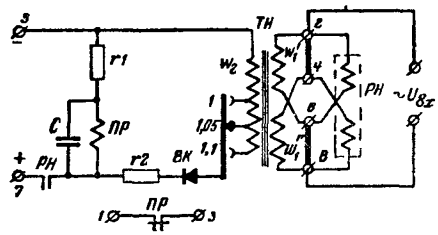


Рис. 3-158. Схема внутренних соединений зарядного устройства типа УЗ-400.

Таблица 3-121

Элементы схемы однократного АПВ

Наименование элемента	АПВ установлено на линии			
	с односторонним питанием		с двусторонним питанием	
	Обозначение по схеме	Тип	Обозначение по схеме	Тип
Устройство повторного включения	*1*	РПВ-58	*1*	РПВ-58
Реле сигнальное	*2РУ*	ЭС-21	*2РУ*	ЭС-21
Переключающее устройство	*3ПУ*	—	*3ПУ*	—
Реле промежуточное	*4РП*	РП-23	*4РП*	РП-23
Реле промежуточное	*5РП*	РП-232	*5РП*	РП-232
Сопротивление	*6r*	500 *ом* (110 *в*)	*6r*	500 *ом* (110 *в*) 1 000 *ом* (220 *в*)
Ключ управления	*КУ*	1 000 *ом* (220 *в*)	*КУ*	—
Реле контроля синхронизма	—	—	*7РС*	ЭН-535
Реле минимального напряжения	—	—	*8РН*	ЭН-529
Переключающее устройство	—	—	*9ПУ*	—
Лампа неоновая	—	—	*10ЛН*	—

Таблица 3-122

Технические данные устройств типов РПВ-58, РПВ-258, РПВ-358

Наименование параметра		Величина		
		РПВ-58	РПВ-258	РПВ-358
$U_{ном}$ (для РПВ-358 среднее, выпрямленное), *в*		110 или 220		110
$I_{ном}$ удерживания сериесной обмотки реле *1РП*, *а*		0,25; 0,5; 1,0; 2,5		
Пределы $t_{ср}$ реле времени *1РВ*, *сек*		0,5—9	1—20	0,5—9
Время заряда конденсатора (готовность РПВ к последующему действию при 20° С)	при $U_{ном}$ и относительной влажности не более 70% (для $t_{проск}$ = = 1 — 9 *сек* РПВ-258), *сек*	15—25	60—100	15—25
	при 0,7 $U_{ном}$, *мин*	2	—	2
	при 0,8 $U_{ном}$, *мин*	—	3,5	—
Устройство надежно работает при напряжении		0,7 $U_{ном}$	0,8 $U_{ном}$	0,7 $U_{ном}$
$U_{длит}$ реле *1РВ*		1,1 $U_{ном}$		
Термическая устойчивость сериесной обмотки и контакта последовательно с ней реле *1РП* при токе $3I_{ном}$, *сек*		5		
$P_{конт.разр}$ второго замыкающего контакта реле *1РП* в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*) при U до 220 *в* и токе до 0,5 *а*, *вт* не менее		25		
$P_{потр}$ сериесной обмоткой реле *1РП* при $I_{ном}$, *вт*		1,25		
Электрическая прочность изоляции всех токоведущих частей относительно корпуса (переменный ток 50 *гц*) в течение 1 *мин*, *в*		2 000		
Вес устройства, *кг*		3,7	4,5	3,7

Таблица 3-123

Технические данные элементов устройств типов РПВ-58, РПВ-258, РПВ-358

Устройство	Обозначение элемента	Наименование элемента			Технические данные	
					Исполнение 110 *в*	Исполнение 220 *в*
РПВ-58, РПВ-258 РПВ-358 (РПВ-358 только на 110 *в*)	*1РП*	Реле промежуточное типа КДР-1	Шунтовая обмотка		$w = 8\,000$ ПЭВ2-0,12 $r = 900$ *ом*	$w = 12\,600$ ПЭВ2-0,1 $r = 2\,100$ *ом*
			Сериесная обмотка	0,25 *а*	$w = 1\,200$, ПЭВ2-0,31 $r = 18$ *ом*	
				0,5 *а*	$w = 600$, ПЭВ2-0,41 $r = 4{,}8$ *ом*	
				1 *а*	$w = 300$, ПЭВ2-0,64 $r = 1{,}2$ *ом*	
				2,5 *а*	$w = 120$, ПЭВ2-1 $r = 0{,}2$ *ом*	
	1РВ	Реле времени			$w = 9\,800$ ПЭВ-0,2 $r = 450$ *ом*	$w = 18\,900$ ПЭЛ-0,14 $r = 1\,750$
	1С	Конденсатор МБГО-2-II			$C = 20 = 2 \times 10$ *мкф* $U_{раб} = 160$ *в*	$C = 8 = 2 \times 4$ *мкф* $U_{раб} = 400$ *в*
	1r1	Сопротивление ПЭ-20-II			$r = 1\,000$ *ом*	$r = 4\,000$ *ом*
РПВ-58, РПВ-358	*1r2*	Сопротивление ВС-0,25-II			$r = 1{,}1$ *Мом* = $= (2 \times 2{,}2$ *Мом*)	$r = 3{,}4$ *Мом* = $= (2 \times 6{,}8$ *Мом*)
	1r3	Сопротивление ПЭ-20-II			$r = 500$ *ом*	
РПВ-358	*1В*	Выпрямитель, германиевый диод			ДГ-Ц27	—
РПВ-258	*1РУ*$_1$ *1РУ*$_2$	Реле указательное типа ЭС-21			$w = 2\,500$ ПЭЛ-0,18 $r = 74$ *ом* $I = 0{,}04$ *а*	$w = 4\,000$ ПЭЛ-0,13 $r = 220$ *ом* $I = 0{,}025$ *а*
	1С2	Конденсатор МБГО-2-II			$C = 20$ *мкф* = $= 2 \times 10$ *мкф* $U_{раб} = 160$ *в*	$C = 8$ *мкф* = $= 2 \times 4$ *мкф* $U_{раб} = 400$ *в*
	1r2 *1r3*	Сопротивление ВС-0,5-II			$r = 3{,}4$ *Мом* $r = 2 \times 6{,}8$ *Мом*	$r = 9{,}1$ *Мом*
	1r4	Сопротивление ПЭ-20-II			$r = 500$ *ом*	

Таблица 3-124

Технические данные зарядного устройства типа УЗ-400

Наименование параметра		Величина
$U_{ном}$ переменного тока $U_{вх}$, *в*		110 или 220
Вторичное напряжение трансформатора *ТН*, *в*: $U_{вх} = 100$ *в*, отпайка 1,1		280
$U_{вх} = 105$ *в*, отпайка 1,05		
$U_{вх} = 110$ *в*, отпайка 1		
Напряжение заряда конденсаторов, *в*		380—400
Время заряда конденсаторов до напряжения 320 *в*, *сек*	Емкость 40 *мкф*	0,28
	Емкость 100 *мкф*	0,7
$P_{потр}$ в нормальном режиме при номинальном напряжении, *ва*		Не более 9
Время термической устойчивости устройства к напряжению 1,1 $U_{ном}$ переменного тока		Длительно
Данные реле ПР: $U_{ср}$		(0,5—0,7) $U_{ном}$
$k_в$		Не менее 0,25
Зазор между контактами, *мм*		Не менее 0,4
$P_{конт.разр}$, *вт*		40
Электрическая прочность изоляции всех цепей относительно корпуса при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		2 000

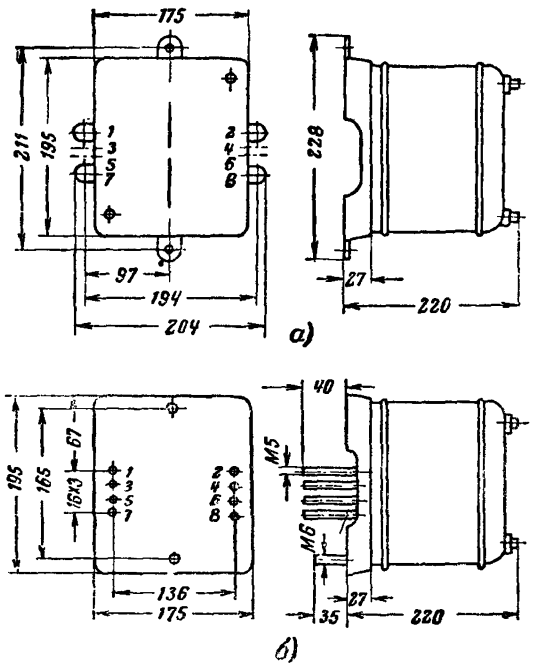


Рис. 3-159. Размеры зарядного устройства типа УЗ-400
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

жимам *5—7* через обратное сопротивление выпрямителей при понижении напряжения питания.

Реле *ПР* контролирует наличие зарядного напряжения.

Все элементы зарядного устройства типа УЗ-400 смонтированы в кожухе, габаритные и установочные размеры которого приведены на рис. 3-159. Заряжаемый конденсатор в комплект УЗ-400 не входит.

3-53. БЛОК ПИТАНИЯ ТИПА БП-10

БП-10 применяется на подстанциях без аккумуляторных батарей для питания выпрямленным током аппаратуры релейной защиты и автоматики, выполненной на номинальное напряжение 110 *в* при суммарной мощности не более 40 *вт*.

Блок питания типа БП-10 состоит из промежуточного насыщающегося трансформатора тока *ТТ* (рис. 3-160), трансформатора напряжения *ТН*, двух выпрямителей *ВГ-1* и *ВГ-2* и регулировочных переключательных устройств.

Конденсатор *С* совместно с индуктивностью трансформатора *ТТ* образует феррорезонансный контур, обеспечивающий сравнительно постоянное напряжение на выходе трансформатора при изменении токов в широком диапазоне.

Явление феррорезонанса наступает при токах, равных и больших тока уставки, которые обозначены на отпайках первичной обмотки (при последовательном соединении обмоток ток уставки снижается вдвое).

Таблица 3-125

Технические данные элементов зарядного устройства УЗ-400

Наименование элемента	Технические данные
Трансформатор напряжения *ТН*	$w'_1 = w''_1 = 1\,000$, ПЭВ2-0,18 $w_2 = 3\,270$, ПЭВ2-0,2, отводы от 2 970-го и 3 120-го витков
Реле минимального напряжения *РН* (типа ЭН-529/160)	Внутренняя 2×1 285, ПЭЛ-0,08 Наружная 2×1 885, ПШДК-0,15
Купроксный выпрямитель *ВК*	3 столбика выпрямителей ВК-20, соединенные последовательно
Поляризованное реле *ПР* (типа РП-7)	$w_1 = 4\,000$ ($r = 600$ *ом*) $w = 25\,000$ ($r = 8\,000$ *ом*) ПЭЛ-0,06, w_1 и w_2 соединены последовательно
Конденсатор *С*	$C = 1$ *мкф*, $U_{раб} = 200$ *в*, тип МБГП-3-200-I-II, ГОСТ 7112-54
Сопротивление *r1*	$r = 240$ *ком*, 1 *вт* ВС-1-1-II, ГОСТ 6562-53
Сопротивление *r2*	$r = 400$ *ом*, II габарит, ПЭ-20-II, ГОСТ 6513-53

Питание оперативных цепей при недостаточных значениях тока короткого замыкания (например, при коротком замыкании за трансформатором со схемой звезда — треугольник) происходит от трансформатора *ТН*. При включении трансформатора *ТТ* на разность фазных токов трансформатор *ТН* включается на линейное напряжение тех же фаз.

Схемы включения трансформатора *ТТ* в токовые цепи приведены на рис. 3-161.

Характеристики блока питания БП-10 приведены на рис. 3-162 — 3-166, а габаритные и установочные размеры — на рис. 3-167.

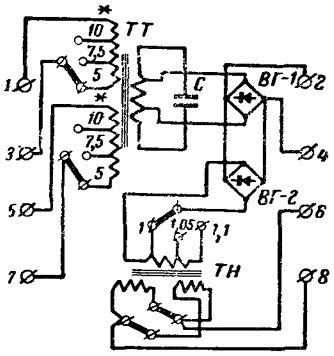


Рис. 3-160. Схема внутренних соединений блока питания типа БП-10.
При напряжении питания 110 *в* на *ТН* включается отпайка *1*, а при 100 *в* — 1,1.

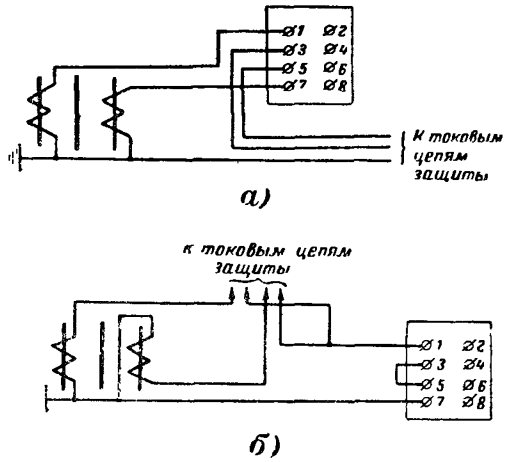


Рис. 3-161. Схема включения блока БП-10 в токовые цепи.
а — на фазные токи; *б* — на разность фазных токов.

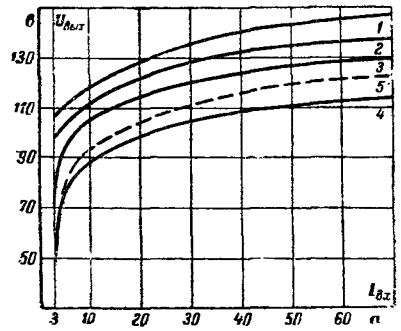


Рис. 3-162. Зависимость напряжения выхода (среднего значения) от тока на входе. Обмотки трансформатора *ТТ* соединены последовательно, уставка по току равна 5.
1 — без нагрузки; *2* — нагрузка 1 200 *ом*; *3* — нагрузка 600 *ом*; *4* — нагрузка 300 *ом*; *5* — нагрузка индуктивная 225 *ом* (два реле времени типов ЭВ-114, ЭВ-134).

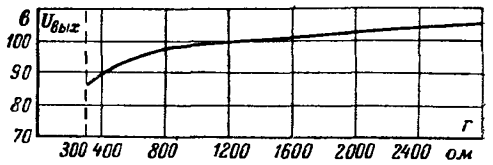


Рис. 3-163. Зависимость напряжения выхода от сопротивления нагрузки при номинальном напряжении на входе и отсутствии тока.

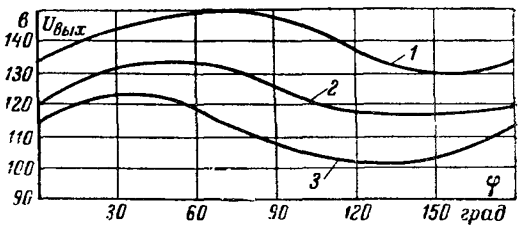


Рис. 3-164. Зависимость напряжения выхода от угла между током и напряжением на входе при номинальном напряжении и токе $5\sqrt{3}a$ в последовательно соединенных обмотках *ТТ*.
1 — без нагрузки; *2* — нагрузка 600 *ом*; *3* — нагрузка 300 *ом*.

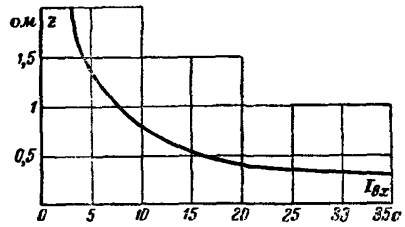
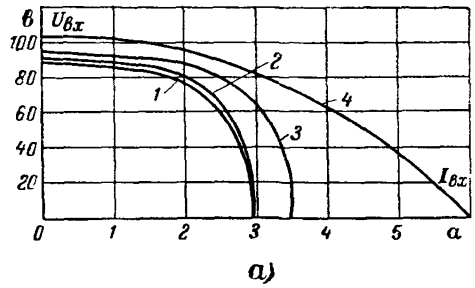
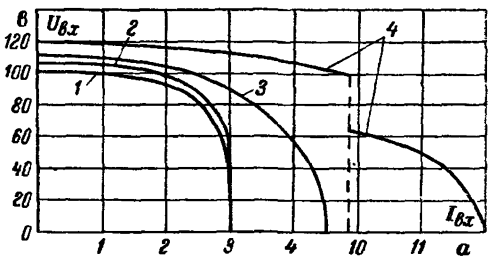


Рис. 3-165. Зависимость сопротивления токовой цепи блока БП-10 (обмотки *ТТ* соединены последовательно и имеют максимальное число витков) от величины тока на входе.



а)



б)

Рис. 3-166. Входные характеристики блока питания БП-10 $U_{вх} = f(I_{вх})$ при $U_{вых}$ = const.

Уставка по току равна 5 (обмотки соединены последовательно), уставка по напряжению равна 1, угол между током и напряжением равен 150°.

а — $U_{вых}$ равно 80 *в*; *б* — $U_{вых}$ равно 93 *в*; *1* — холостой ход; *2* — нагрузка 1 200 *ом*; *3* — нагрузка 600 *ом*; *4* — нагрузка 300 *ом*.

3-54. БЛОКИ ПИТАНИЯ ТИПОВ БПТ-100 И БПН-100

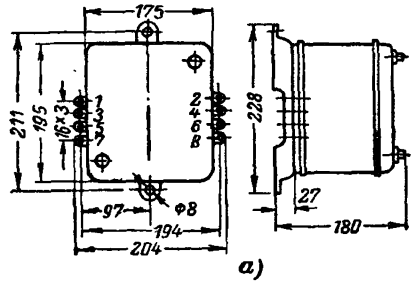
Блоки питания применяются для питания выпрямленным током аппаратуры релейной защиты и автоматики, выполненной на номинальное напряжение 110 *в* при суммарной мощности не более 240 *вт*.

Блоки питания обеспечивают действие катушек включения и отключения грузового привода (УГП-51, ПГМ-10 и др.) выключателей ВМ-35, а также питание цепей защиты и сигнализации присоединения.

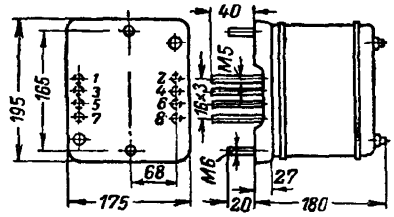
Принципиальные схемы блоков питания БПТ-100 и БПН-100 приведены соответственно на рис. 3-168 и 3-169.

Токовые цепи блока типа БПТ-100 (зажимы *5—6*), независимо от номинального тока присоединения должны включаться на ответвление 200/5 встроенных трансформаторов тока ТВ-35 или ТВД-35 выключателя ВМ-35. При этом не допускается включение другой нагрузки в цепи трансформаторов тока, нагруженных блоком типа БПТ-100.

Параллельно вторичной обмотке насыщающегося промежуточного трансформатора *ТТ* включен конденсатор *С*, образующий с ветвью намагничивания трансформатора феррорезонансный контур, благодаря чему



а)



б)

Рис. 3-167. Размеры блока питания типа БП-10.

а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Таблица 3-126

Технические данные элементов блока питания типа БП-10

Наименование элемента	Технические данные
Трансформатор тока *ТТ*	Первичная обмотка $w_1 = 2\times45$, ПСД-1,68, отводы от 23-го и 30-го витков
	Вторичная обмотка $w_2 = 1\,860$, ПЭВ2-0,35 отводы от 580-го и 1 760-го витков
Трансформатор напряжения *ТН*	Первичная обмотка $w_1 = 2\times830$, ПЭВ2-0,23
	Вторичная обмотка $w_2 = 1\,000$, ПЭВ2-0,31, отводы от 900-го и 950-го витков
Выпрямительные мосты *ВГ-1* и *ВГ-2*	По одному диоду типа ДГ-Ц27 в плече
Конденсатор *С*	$C = 4$ *мкф* $= 2\times2$ *мкф*, тип МБГП, ГОСТ 7112-54 $U_{раб} = 600$ *в*

Таблица 3-127

Технические данные блоков питания типа БП-10

Наименование параметров		Величина
$I_{ном}$ первичных обмоток промежуточного трансформатора тока (*ТТ*), *а*		$5\sqrt{3}$
$U_{ном}$ первичное промежуточного трансформатора напряжения (*ТН*), *в*	Параллельное соединение секций	110
	Последовательное соединение секций	220
$U_{ном}$ постоянного тока на выходе блока (среднее значение), *в*		110
Значение тока уставки при питании блока от одной токовой обмотки *ТТ*, *а*		5; 7,5; 10
То же при питании блока от двух последовательно включенных токовых обмоток (*ТТ*), *а*		2,5; 3,75; 5
Напряжение на выходе блока при питании его только от трансформатора *ТТ* при последовательном включении его обмоток током, равным 1,2 току уставки, *в*	Нагрузка блока 600 *ом*	98±5
	Холостой ход блока	113±5
Блок питания допускает протекание тока 15-кратного к току уставки при нагрузке 300 *ом* в течение, *сек*		3
$I_{длит}$ (среднее значение выпрямленного тока) через каждый выпрямительный мост, *а*		0,17
$P_{потр}$ цепей напряжения, *ва*	при холостом ходе	9
	при нагрузке 300 *ом*	42
$P_{потр}$ цепей тока		См. кривую рис. 3-165
Электрическая прочность изоляции относительно корпуса при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		2 000
Вес блока питания, *кг*		4,5

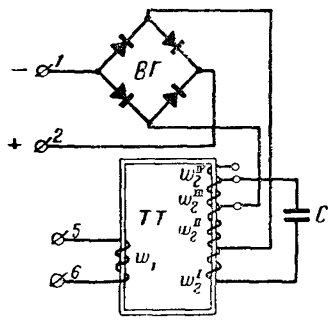


Рис. 3-168. Схема внутренних соединений блока питания типа БПТ-100.

обеспечивается сравнительно постоянное напряжение на выходе блока при изменении токов на входе в широких пределах.

Первичная обмотка трансформатора *ТТ* допускает включение блока БПТ-100 на фазный ток или разность фазных токов.

Блок питания БПН-100 состоит из промежуточного трансформатора *ТН* и выпрямительного моста *ВГ* на выходе. С целью получения постоянных выходных параметров при подведении к блоку напряжения 100—110 *в* на вторичной обмотке предусмотрена регулировка.

Блок питания БПН-100 может применяться совместно с блоком БПТ-100 или независимо от него на любых присоединениях.

Схемы включения блоков БПТ-100 и БПН-100 приведены на рис. 3-170—3-174.

Характеристики блока БПТ-100 приведены на рис. 3-175, блока БПН-100 — на

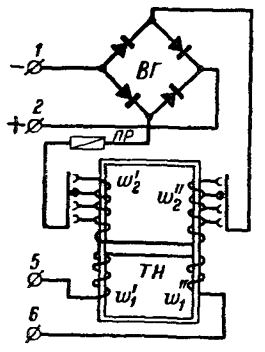


Рис. 3-169. Схема внутренних соединений блока питания типа БПН-100.

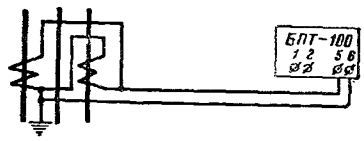


Рис. 3-170. Схема включения блока БПТ-100 на разность токов двух фаз.

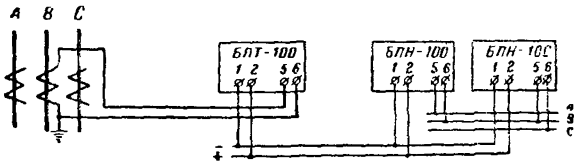


Рис. 3-171. Схема включения блока БПТ-100 на ток фазы *B* и двух блоков БПН-100 на напряжения фаз *AB* и *BC*.

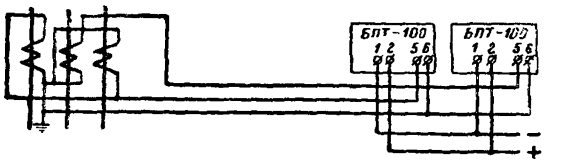


Рис. 3-172 Схема включения двух блоков БПТ-100: одного — на разность токов двух фаз, другого — на фазный ток.

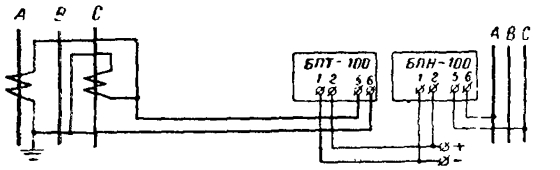


Рис. 3-173. Схема включения блока БПТ-100 на разность токов двух фаз и блока БПН-100 на линейное напряжение тех же фаз.



Рис. 3-174. Схема включения блока БПН-100 на линейное напряжение.

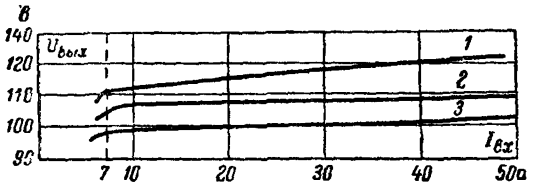


Рис. 3-175. Зависимость напряжения на выходе (среднего значения) от тока на входе блока БПТ-100.

1 — без нагрузки; *2* — нагрузка 80 *ом* (мощность 150 *вт*); *3* — нагрузка 50 *ом* (мощность 240 *вт*).

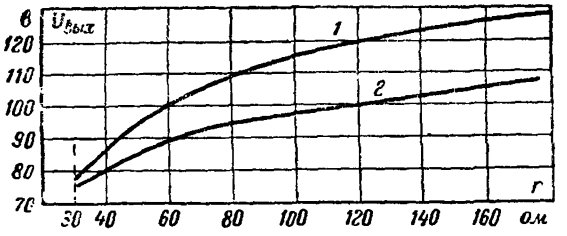


Рис. 3-176. Зависимость напряжения на выходе (среднего значения) от величины нагрузки блока БПН-100.

1 — для напряжения $U_{вх} = 100$ *в* (отпайка на *TH* равна 1,1); *2* — для напряжения $U_{вх} = 110$ *в* при отпайке на *TH*, равной 0,84, или $U_{вх} = 100$ *в* при отпайке на *TH*, равной 0,93.

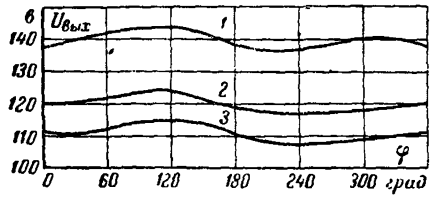


Рис. 3-177. Зависимость напряжения на выходе при совместном использовании блоков БПТ-100 и БПН-100 от фазы угла между током и напряжением на входе блоков.

Ток на входе соответствует феррорезонансу, напряжение номинальное.

1 — холостой ход; *2* — нагрузка 80 *ом*; *3* — нагрузка 50 *ом*.

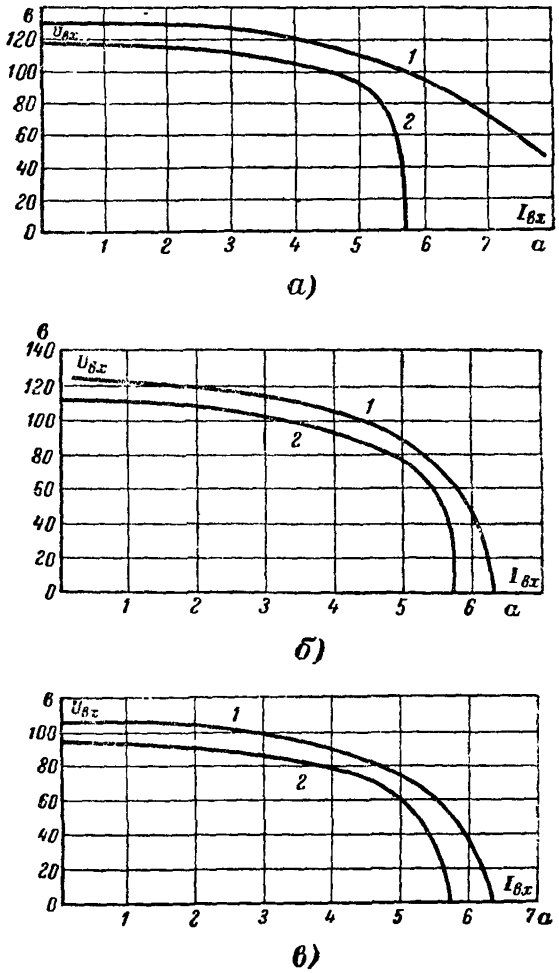


Рис. 3-178. Входные характеристики $U_{вх} = f(I_{вх})$ совместно используемых блоков БПТ-100 и БПН-100 при постоянном выходном напряжении. Отпайка на трансформаторе *TH* равна 0,84, $\varphi = 0°$.

а — $U_{вых} = 100$ *в*; *б* — $U_{вых} = 93$ *в*; *в* — $U_{вых} = 80$ *в*; *1* — нагрузка 50 *ом*; 2 — нагрузка 80 *ом*.

рис. 3-176; характеристики совместно используемых блоков даны на рис. 3-177 и 3-178.

Конструктивно блоки БПТ-100 и БПН-100 выполнены отдельными устройствами, имеющими одинаковые габаритные и установочные размеры (рис. 3-179).

Таблица 3-128

Технические данные блоков питания БПТ-100 и БПН-100

Наименование параметра	Величина
$I_{ном}$ первичной обмотки трансформатора *ТТ* блока БПТ-100, *а*	$5/\sqrt{3}$
U (среднее значение) на выходе блока БПТ-100 при нагрузке 50 *ом* и токе на выходе, равном 7 *а*, *в*	98±4
То же при отсутствии нагрузки и токе 7 *а*, *в*	Не выше 115
I на входе блока БПТ-100, при котором наступает феррорезонанс на вторичной обмотке трансформатора *ТТ*, *а*: Холостой ход блока, ток к первичной обмотке подводится плавно	5,8±0,3
Холостой ход блока, ток к первичной обмотке подводится толчком	4,2
Нагрузка 50 *ом*	6,4
Термическая устойчивость блока БПТ-100: Холостой ход блока, ток 5,5 *а* при отсутствии феррорезонанса	Длительно
Нагрузка 50 *ом*, ток 75 *а*, *сек*	3
$U_{ном}$ первичное блока БПН-100, *в*	100
Среднее значение напряжения на выходе блока БПН-100 при нагрузке 80 *ом*, *в*: $U_{вх}=100$ *в*, $k_т=0{,}84$; $U_{вх}=105$ *в*, $k_т=0{,}88$; $U_{вх}=100$ *в*, $k_т=0{,}93$	93±5
$U_{вх}=100$ *в*, $k_т=1{,}1$	110
$P_{потр}$ блока БПН-100, *ва*: $U_{вх}=110$ *в*, холостой ход блока	5
$U_{вх}=110$ *в* $k_т=0{,}84$, нагрузка 80 *ом*	165
$U_{вх}=100$ *в*, $k_т=1{,}1$, нагрузка 80 *ом*	240
Термическая устойчивость блока БПН-100: при 1,1 $U_{ном}$ при холостом ходе	Длительно
при $U_{вых}=110$ *в* и нагрузке 50 *ом*, *сек*	3
при нагрузке с током выхода 0,3 *а*	Длительно

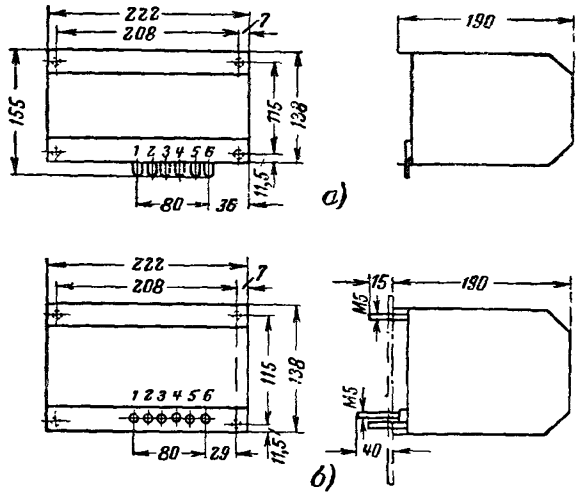


Рис. 3-179. Размеры блоков БПТ-100 и БПН-100.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

Продолжение табл. 3-128

Наименование параметра	Величина
Электрическая прочность изоляции цепей блоков БПТ-100 и БПН-100 относительно корпуса при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*	2 000
Вес блока, *кг*: БПТ-100	8
БПН-100	5,5

3-55. РЕЛЕ ВРЕМЕНИ ТИПОВ РВМ-12 И РВМ-13

Реле применяются в схемах защит и автоматики на оперативном переменном токе и включаются непосредственно в цепи трансформаторов тока.

Реле состоит из двух насыщающихся трансформаторов T_1 и T_2 (рис. 3-180), во вторичные обмотки которых может включаться обмотка моторчика *М* со втя-

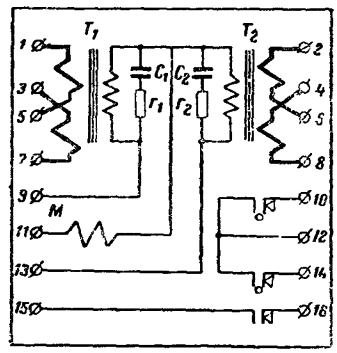


Рис. 3-180. Схема соединений реле времени типов РВМ-12, РВМ-13.

Таблица 3-129

Технические данные элементов блоков питания БПТ-100 и БПН-100

Наименование блока	Наименование элемента блока	Технические данные
БПТ-100	Насыщающийся трансформатор *ТТ*	$w_1 = 175$, ПБД-1,68 $w'_2 = 600$, $w''_2 = 350$, $w'''_2 = 30$, $w''''_2 = 45$, ПЭВ2-1,25
	Конденсатор *С*	$C = 16$ *мкф* $= 4 \times 4$ *мкф*, тип МБТО, $U_{раб} = 600$ *в*
	Выпрямительный мост *ВГ*	Диоды типа ДГ-Ц27 по 2 в плече
БПН-100	Промежуточный трансформатор напряжения *ТН*	$w'_1 = w''_1 = 425$, ПЭВ2-0,64 $w'_2 = w''_2 = 710$, ПЭВ2-0,74 Отводы от 490-го, 515-го и 550-го витков
	Предохранитель *ПР*	Тип ПК-45-5а, ГОСТ 5010-53
	Выпрямительный мост	Диоды типа ДГ-Ц27 по 2 в плече

Таблица 3-130

Технические данные реле времени типов РВМ-12 и РВМ-13

Наименование параметра	Величина	
	РВМ-12	РВМ-13
$I_{ср}$ при соединении секции обмоток реле, *а*: последовательно	2,5	
параллельно	5	
Максимальная выдержка времени, *сек*	4	10
Максимальный разброс времени при токах от $I_{ср}$ до 20 $I_{ср}$, *сек*	0,12	0,25
$P_{потр}$ при 2 $I_{ср}$, *ва*	Не более 8	
Время возврата подвижной системы, % уставки	Не более 10	
$P_{конт.разр}$: Постоянный ток ($T = 5 \cdot 10^{-3}$ *сек*), *вт*	100 при токе до 1 *а* и напряжении до 220 *в*	
Переменный ток, *ва*	500 при токе до 5 *а* и напряжении до 220 *в*	
$I_{длит}$ замкнутых контактов, *а*	5	
Вес реле, *кг*	2	

гивающимся ротором. Включение моторчика осуществляется контактами других (управляющих) реле. Для правильной работы реле моторчик может включаться одновременно только в цепь одной из обмоток трансформаторов.

При втягивании ротора он входит в зацепление с редуктором и приводит в движение два проскальзывающих (верхних) и один конечный (нижний) контакты. Конечный контакт имеет указатель (рис. 3-181). Каждый контакт имеет свою шкалу.

Первичные обмотки каждого трансформатора T_1 и T_2 состоят из двух секций и могут включаться параллельно или последовательно в фазы токовой цепи.

Конденсаторы (C_1 и C_2 по 2 *мкф*) и сопротивления (r_1 и r_2 по 500 *ом*) снижают процент высших гармоник и величину пиков напряжений в обмотке моторчика.

Размеры реле приведены на рис. 3-181, а технические данные — в табл. 3-130.

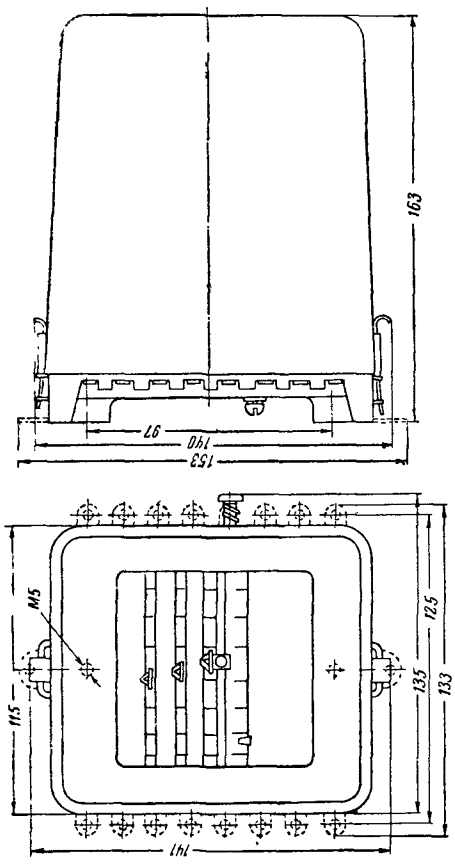


Рис. 3-181. Размеры реле времени типов РВМ-12, РВМ-13 (пунктирными линиями показаны ламели и ушки для переднего присоединения).

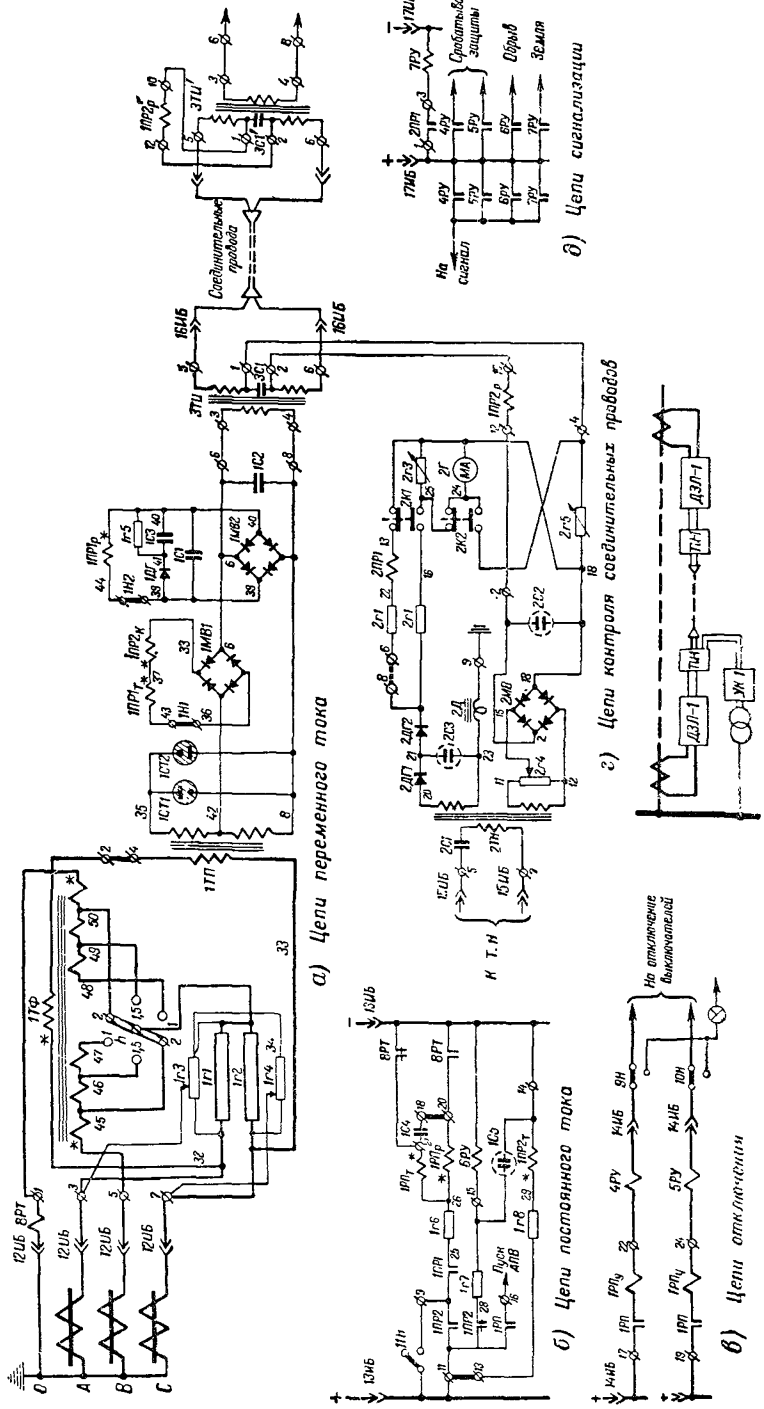


Рис. 3-182. Схема продольной дифференциальной защиты линии электропередач типа ДЗЛ-1 (схема дана для той стороны ЛЭП, где установлено устройство контроля типа УК-1; Положение контактов дано для обесточенных реле).

3-56. ПРОДОЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ ТИПА ДЗЛ-1

Защита используется в качестве основной для линий протяженностью до 20 км при всех видах к. з.

Защита состоит из следующих элементов[1] (рис. 3-182):

а) двух реле типа ДЗЛ-1;

б) двух изолирующих трансформаторов типа ТИ-1;

в) устройства контроля соединительных проводов типа УК-1;

г) двух токовых реле *8РТ*;

д) восьми сигнальных реле (*4РУ—7РУ*);

е) шести отключающих устройств (*9Н—11Н*);

ж) двенадцати испытательных блоков (*12ИБ—17ИБ*);

з) соединительных проводов.

Дифференциальные реле типа ДЗЛ-1 установлены по концам линии и соединены друг с другом посредством изолирующих трансформаторов *ТИ-1* и соединительных проводов по схеме циркуляции токов.

Реле ДЗЛ-1 состоит из следующих элементов:

1. Комбинированного активно-индуктивного фильтра положительной и отрицательной последовательностей типа I_1+kI_2, который преобразует трехфазную систему токов в однофазную и позволяет выполнить защиту односистемной — с одним реле.

Фильтр содержит трансреактор *1ТФ*, сопротивления *1r1—1r4* (при помощи их регулируется коэффициент фильтра k), накладку для изменения коэффициента h, которой изменяется число первичных витков трансреактора *1ТФ* и величина индуктивного сопротивления взаимоиндукции $x_ф$.

h характеризует одновременное пропорциональное изменение чувствительности по току отрицательной и положительной последовательностей.

При изменении h одновременно производится изменение сопротивления фильтра $r_ф$ (на сопротивлениях *1r1—1r4*).

Значения $x_ф$ и $r_ф$ для различных сочетаний h и k даны в табл. 3-131.

Таблица 3-131

Значения $x_ф$ и $r_ф$ защиты ДЗЛ-1 для различных сочетаний h и k

k	$x_ф$ (верхняя цифра), $r_ф$ (нижняя), *ом* при		
	h=1	h=1,5	h=2
—4	0,38 0,366	0,253 0,243	0,19 0,183
—6	0,38 0,308	0,253 0,205	0,19 0,154
—8	0,38 0,282	0,253 0,188	0,19 0,141
—10	0,38 0,268	0,253 0,178	0,19 0,134

Зависимость уставок h, обеспечивающих линейность фильтра при различных величинах полных значений максимальных вторичных токов к. з., дана в табл. 3-132.

Таблица 3-132

Зависимость уставок h от тока к. з. защиты ДЗЛ-1

Уставки h	1	1,5	2
Максимальный вторичный ток к. з. (в фазе), *а* . . .	100	150	200

2. Согласующего устройства, состоящего из трансформатора *1ТП* и стабилизаторов *1СТ1* и *1СТ2*. Устройство ограничивает напряжение на соединительных проводах и повышает избирательность защиты при больших токах сквозных к. з. После зажигания стабилизаторов защита реагирует лишь на фазу токов по концам защищаемой ЛЭП.

3. Дифференциального поляризованного реле *1ПР1* рабочая обмотка реле $1ПР1_р$ включена дифференциально, а тормозная $1ПР1_т$ — в цепь циркуляции.

Обмотка $1ПР1_т$ повышает отстройку от токов небаланса при сквозных к. з., особенно при токах, меньших токов зажигания стабилизаторов.

Конденсатор *1С1* сглаживает кривую токов в обмотке $1ПР1_р$, а конденсатор *1С2* повышает чувствительность и улучшает тормозные характеристики защиты. Цепь из диода *1ДГ* сопротивления *1r5* и конденсатора *1С3* служит для замедления срабатывания реле *1ПР1*, чем обеспечивается надежная блокировка защиты при обрыве соединительных проводов, так как при этом реле *1ПР2* размыкает цепь реле *1ПР* раньше, чем ее замкнет реле *1ПР1*.

4. Поляризованного реле контроля соединительных проводов *1ПР2*, блокирующего защиту при обрыве соединительных проводов. Рабочая обмотка реле $1ПР2_р$ постоянно обтекается током контроля и удерживает реле в сработавшем состоянии.

Тормозная обмотка $1ПР2_т$ включена в цепи постоянного тока, увеличивает коэффициент возврата реле и уменьшает время возврата при обрыве соединительных проводов.

Компенсационная обмотка $1ПР2_к$ включена на ток циркуляции и предотвращает возможное вздрагивание реле при к. з. в защищаемой зоне.

5. Выходного промежуточного реле *1ПР*, имеющего рабочую $1ПР_р$, тормозную $1РП_т$ и две удерживающие ($1РП_у$) обмотки.

Тормозная обмотка (совместно с конденсатором *1С4*) подключается параллельно рабочей обмотке токовым реле *РТ* при замыкании на землю. Тормозная цепь ($1РП_т$ и *1С4*) обеспечивают отстройку защиты от работы разрядников. При отсутствии разрядников тормозная цепь и реле *8РТ* не используется, минус присоединяется к зажиму *20* реле ДЗЛ-1, перемычка *18—20* снимается.

6. Конденсатора *1С5*, предотвращающего неправильное срабатывание указательного реле *6РУ* при сквозных к. з., когда возможен кратковременный возврат реле *1ПР2*.

Устройство контроля типа УК-1 является источником тока контроля, который циркулирует по соединительным проводам. При помощи этого устройства осуществляется автоматический контроль изоляции проводов (посредством реле *2ПР1*) и периодический контроль — посредством микроамперметра *2Г*. Устройство контроля состоит из:

1) феррорезонансного стабилизатора напряжения (конденсатор *2С1* и трансформатор *2ТН*), обеспечивающего неизменную величину тока контроля при колебаниях напряжения на ±20%; сопротивлением *2r4* устанавливается величина тока контроля;

[1] Оборудование по пп. «е», «ж», «з» с защитой комплектно не поставляется.

2) конденсатора *2С2*, обеспечивающего сохранение предшествующего режима в цепях контроля (памяти) при резких снижениях напряжения (во время близких к. з.) на время 1,5—2 *сек*;

3) сглаживающей емкости *2С3*;

4) поляризованного реле *2ПР1*, обеспечивающего автоматический контроль состояния изоляции соединительных проводов (*2r1* — добавочное сопротивление);

5) микроамперметра *2Г*, дающего возможность периодически контролировать состояние изоляции соединительных проводов относительно земли (при нажатии кнопки *2К1*) и определять величину тока контроля (при нажатии кнопки *2К2*); сопротивления *2r3* и *2r5* являются шунтами к прибору *2Г*; *2r2* — добавочное сопротивление;

6) выпрямителей (германиевые диоды) *2ДГ1* и *2ДГ2* и *2МВ*;

7) дросселя *2Д*, который ограничивает величину тока в цепи контроля, возникающего при появлении внешней разности потенциалов между точкой замыкания соединительных проводов и заземленным зажимом *9* устройства УК-1.

Изолирующий трансформатор ТИ-1 снижает нагрузку на фильтры от соединительных проводов и позволяет применять в качестве соединительных проводов низковольтные телефонные кабели типа *ТЗБ* или *ТБ*.

В комплект трансформатора ТИ-1 входит разделительная емкость *3С1*, которая предотвращает к. з. для тока контроля и обеспечивает его наложение на переменный ток, циркулирующий в соединительных проводах.

Реле ДЗЛ-1 имеет такие же габаритные и установочные размеры, как и реле КРС-131 и КРС-132 (рис. 3-104) (используется 24 зажима). Размеры устройства контроля типа УК-1 приведены на рис. 3-183, а трансформатора ТИ-1 — на рис. 3-184.

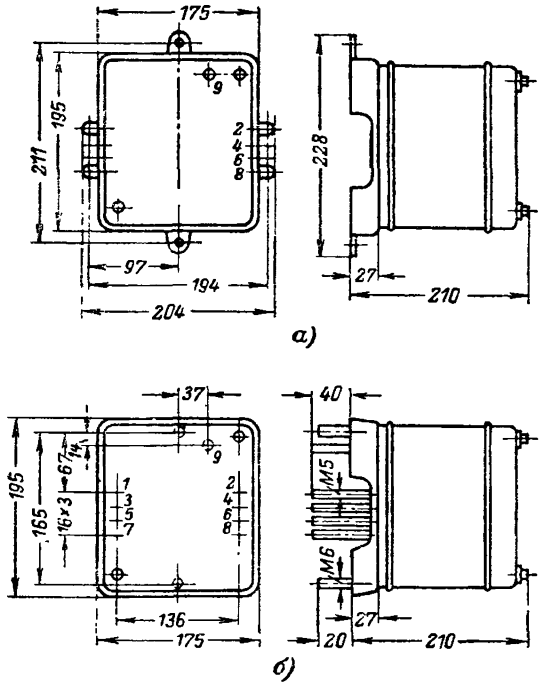


Рис. 3-183. Размеры устройства контроля соединительных проводов УК-1 защиты ДЗЛ-1.

а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

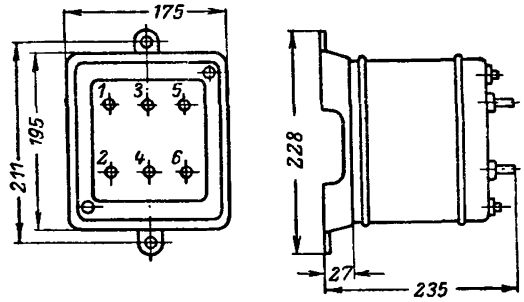


Рис. 3-184. Размеры изолирующего трансформатора ТИ-1 защиты ДЗЛ-1.

Технические данные защиты ДЗЛ-1 приведены в табл. 3-137, а элементов реле ДЗЛ-1, устройства УК-1 и трансформатора ТИ-1 — в табл. 3-138, 3-139 и 3-140.

Работа защиты

а) Нормальный режим. Токи в начале и конце линии равны между собой и сдвинуты на угол 180°; э. д. с. на выходе фильтров обоих полукомплектов защиты также равны между собой и сдвинуты на 180°. По соединительным проводам циркулируют токи, эти же токи проходят и по тормозным обмоткам реле *1ПР1*; по рабочим обмоткам реле *1ПР1* проходят только токи небаланса. Защита не действует.

б) Повреждение вне зоны. Режим аналогичен режиму нагрузки. При больших токах вступают в действие стабилизаторы *1СТ1* и *1СТ2*. При этом защита реагирует лишь на сдвиг фаз между токами, но поскольку угол между токами близок к 180°, то защита не действует.

в) Повреждение в зоне защиты (двустороннее питание). В этом случае на одном из концов линии вектор тока изменяет знак и векторы напряжений на выходе фильтров обоих реле ДЗЛ-1 совпадают или становятся близкими по фазе. По соединительным проводам проходят небольшие токи, а токи в тормозных и рабочих обмотках реле *1ПР1* примерно равны, поэтому эти реле срабатывают и защита действует на отключение.

г) Повреждение в зоне защиты (одностороннее питание). В этом случае в рабочую обмотку дифференциального реле приемного конца линии проходит по соединительным проводам ток от э. д. с. фильтра реле ДЗЛ-1 питающего конца линии, и оба реле срабатывают.

д) Обрыв соединительных проводов. Дифференциальные реле *1ПР1* реагируют на этот режим так же, как и на к. з. в защищаемой зоне. Оба реле *1ПР1* срабатывают, если ток нагрузки больше тока срабатывания реле.

Работа устройства контроля

При обрыве соединительных проводов реле *1ПР2* и *1ПР2'* обесточиваются и размыкают цепи выходных реле на каждом конце линии, при этом защита блокируется и действует соответствующая сигнализация.

В случае замыкания соединительных проводов между собой возникает опасность отказа защиты, так как шунтируются рабочие обмотки реле *ПР1*, при этом обесточивается реле *1ПР2'*, которое выводит защиту той стороны, где отсутствует устройство контроля УК-1, и одновременно подает сигнал о неисправности.

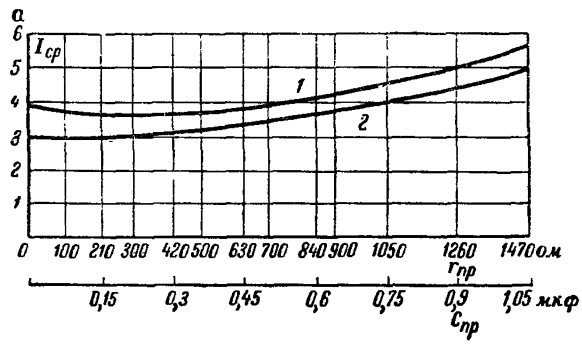


Рис. 3-185. Зависимость тока срабатывания защиты ДЗЛ от сопротивления петли соединительных проводов при одностороннем питании, к. з. на фазах *B0* и *h*, равном 1. Кривая дана для соотношения $r_{пр}$ и $C_{пр}$ кабеля ТБ.
1 — питающее реле; *2* — приемное реле.

Ток срабатывания защиты при одностороннем питании

Ток срабатывания защиты (по полному току к. з.) зависит от вида к. з., уставок по *h* и *k* и сопротивления соединительных проводов.

Таблица 3-133

Значения токов срабатывания защиты ДЗЛ (с точностью 10%) в зависимости от вида к. з. при одностороннем питании *h*, равном 1, длине соединительных проводов до 10 *км* ($C_{пр}$ до 0,5 *мкф* и $r_{пр}$ до 700 *ом* на петлю)

Вид к. з.	Ток срабатывания, *a*							
	Питающее реле				Приемное реле			
	k=—4	*k*=—6	*k*=—8	*k*=—10	*k*=—4	*k*=—6	*k*=—8	*k*=—10
A0	2,48	2,88	3,12	3,25	2,15	2,5	2,71	2,82
B0	3,8	3,8	3,8	3,8	3,3	3,3	3,3	3,3
C0	2,48	2,88	3,12	3,25	2,15	2,5	2,71	2,82
AB	1,83	1,98	2,04	2,08	1,59	1,72	1,77	1,8
AC	1,31	1,57	1,71	1,8	1,14	1,37	1,49	1,56
BC	1,83	1,98	2,04	2,08	1,59	1,72	1,77	1,8
ABC	3,8	6,4	8,94	11,5	3,3	5,54	7,75	10
ACB	0,95	1,06	1,12	1,15	0,825	0,917	0,966	1,0

Примечание. Значение токов срабатывания при *h*, равном 1,5 и 2, получаются умножением приведенных в таблице величин соответственно на 1,5 или 2.

Зависимость тока срабатывания защиты от сопротивления соединительных проводов дана на рис. 3-185, а значения токов срабатывания при различных видах к. з. приведены в табл. 3-133.

Ток срабатывания защиты при длине проводов свыше 10 *км* определяется (с точностью до 10%) по данным кривой рис. 3-185 и табл. 3-133, 3-134.

Например, требуется определить ток срабатывания для к. з. на фазах *AC* защиты, имеющей *h*=2, *k*=—8 при длине соединительных проводов (из кабеля ТБ) 15 *км*.

$$r_{пр}=15\cdot 70=1\,050\ ом;\ C_{пр}=0{,}05\cdot 15=0{,}75\ мкф.$$

По кривой рис. 3-185 находим токи срабатывания для к. з. на фазах *B0* и *h*=1.

$$I_{ср.пит\ (B0)}=4{,}5\ а;\ I_{ср.пр\ (B0)}=4{,}0\ а.$$

Определяем ток срабатывания для к. з. на фазах *AC* при *h*=2: $I_{ср.пит\ (AC)}=I_{ср.пит\ (B0)}\frac{1}{n}h=4{,}5\cdot 0{,}45\cdot 2\cong 4\ а$; $I_{ср.пр\ (AC)}=I_{ср.пр\ (B0)}\frac{1}{n}h=4\cdot 0{,}45\cdot 2=3{,}6\ а$, где $\frac{1}{n}$ взято для фаз *AC* и *k*=—8 из табл. 3-134.

Определение тока срабатывания защиты в случае выполнения соединительных проводов кабелем других марок, отличных от ТБ, производится тем же способом.

Таблица 3-135

Зависимость тока срабатывания защиты ДЗЛ-1 от величины $r_{пр}$ на петлю при к. з. на фазах *B0*, *h* = 1, *k* = — 6, $C_{пр}$ = 0

$r_{пр}$, *ом*	0	200	400	600	800	1 000	1 200	1 400
$I_{ср.пит}$, *a*	3,85	3,8	3,75	3,65	3,55	3,35	3,35	3,35
$I_{ср.пр}$, *a*	3,1	3,15	3,2	3,25	3,3	3,35	3,35	3,35

Таблица 3-136

Зависимость тока срабатывания защиты ДЗЛ-1 от величины $C_{пр}$ (к. з. на фазах *B0*, *h* = 1, *k*=—6 $r_{пр}$= 0)

$C_{пр}$, *мкф*	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,0
$I_{ср.пит}$, *a*	3,8	4,0	4,3	4,6	5,4	6,3	7,2
$I_{ср.пр}$, *a*	3,2	3,2	3,3	3,5	3,8	4,0	4,2

Таблица 3-134

Значения коэффициента $\frac{1}{n}$ защиты ДЗЛ-1 в зависимости от вида к. з. и величины коэффициента *k*

Коэффициент *k*	Вид короткого замыкания							
	A0	*B0*	*C0*	*AB*	*AC*	*BC*	*ABC*	*ACB*
—4	0,653	1	0,653	0,481	0,346	0,481	1	0,25
—6	0,758	1	0,758	0,521	0,414	0,521	1,68	0,278
—8	0,82	1	0,82	0,535	0,46	0,535	2,35	0,293
—10	0,855	1	0,855	0,546	0,471	0,546	3,03	0,3

Таблица 3-137

Технические данные защиты ДЗЛ-1

Наименование параметра	Величина
Номинальные данные:	
$I_{ном}$ переменный, *а*	5
$f_{ном}$ частота, *гц*	50
$U_{ном}$ переменный, *в*	100
$U_{ном}$ постоянный, *в*	110 или 220
$I_{уд}$ обмоток выходного реле *1РП1*, *а*	1, 2 или 4
$P_{потр}$:	
цепи переменного тока при 5 *а* трехфазного тока, *ва* на фазу	Не более 10
цепи постоянного тока, *вт* при 110 *в*	Не более 8
цепи постоянного тока, *вт* при 220 *в*	Не более 16
цепи переменного напряжения при 100 *в*, *ва*	Не более 5
Защита надежно и избирательно действует в диапазоне изменения сопротивления петли 0—1 400 *ом* и их емкости 0—1 *мкф* при вторичных токах трехфазного к. з., *а*	До 200
Термическая устойчивость к трехфазному току, *а*:	
$I_{длит}$	6
$I_{1,сек}$	200
$U_{длит}$ цепей напряжения, % $U_{ном}$	110
Величина коэффициента *h*	1; 1,5; 2
Величина коэффициента *k*	4, 6, 8, 10
При замыканиях вне зоны защита избирательна, если	
разность токов по концам линии, %	Не более 20
фазы токов лежат в пределах, *град*	± 155
$t_{ср}$ защиты при токе $5I_{ср}$ без выходного промреле, *мсек*	Не более 40
$t_{ср}$ выходного промреле *1РП1*, *мсек*:	
Тормозная обмотка отключена	8—10
Тормозная обмотка включена	50—70
$t_{ср}$ защиты с выходным реле, *сек*:	
1РП1 без торможения	0,05
1РП1 с торможением	0,11
Загрубление защиты при токе нагрузки 5 *а* в режиме одностороннего питания для данных табл. 3-133 и рис. 3-185 (для *k*, равного —6, —8 и —10) не превышает кратности	2,5
Защита надежно блокируется при обрыве соединительных проводов и токе нагрузки, *а*	До 6

Продолжение табл. 3-137

Наименование параметра			Величина
Реле *2ПР1* контроля изоляции соединительных проводов срабатывает при снижении изоляции проводов до величины, *ком*			20 и ниже
Возврат реле *1ПР2*, установленного на стороне линии, где отсутствует устройство *УК-1*, обеспечивается при замыкании проводов через сопротивление, *ом*			100 и ниже
$I_{ном}$, контроля, *ма*			5,5
Изменение тока контроля при колебаниях напряжения на ± 20%, %			Не более 10
Показание микроамперметра *2Г* при периодическом контроле состояния изоляции в делениях шкалы	При сопротивлении изоляции проводов, *ком*	0	80—100
		15	70—90
		30	60—80
		50	55—70
		70	45—60
$U_{макс}$ на соединительных проводах, *в*			Не более 80
Изоляция всех цепей защиты относительно корпуса при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*			2 000

(по табл. 3-133, 3-134 и 3-135), но с определением тока по кривой рис. 3-185 только по величине емкости $C_{пр}$, так как из табл. 3-135 и 3-136 следует, что ток срабатывания в основном зависит от емкости соединительных проводов.

Точность определения $I_{пр}$ защиты в этом случае будет порядка ±20%.

Ток срабатывания защиты при двустороннем питании

При двустороннем питании защищаемой линии анализ чувствительности производится с учетом полного тока в месте к. з.

При одинаковых токах по концам защищаемой линии токи срабатывания защиты снижаются в 2 раза по сравнению с величиной, указанной в табл. 3-133 и на рис. 3-185.

Таблица 3-138

Технические данные изолирующего трансформатора типа ТИ-1 защиты ДЗЛ-1

Наименование элемента и обозначение по схеме	Тип	Параметры
Трансформатор *ЗТИ*	ТИ-1	w_1=850, ПЭВ2-0,8 w_2=w_3=1 275 ПЭВ2-0,35 Сталь 30×80 *мм*
Конденсатор *ЗС1*	МБГП, ГОСТ 7112-54	C=10 *мкф*, $U_{раб}$=400 *в*

Таблица 3-139

Технические данные дифференциального реле типа ДЗЛ-1

Наименование элемента и обозначение их по схеме		Тип	Параметры	
			110 *в*	220 *в*
Трансреактор *1ТФ*		—	$w_1 = 18$, ПБД-1,95, отпайки от 9-го и 12-го витков $w_2 = 6$, ПБД-1,95, отпайки от 3-го и 4-го витков $w_3 = 85$, ПЭВ1-1,16	
Траисформатор *1ТП*			Первичная $w_1 = 80$, ПБД-1,16 Вторичные $w_2 = 2\,000$, ПЭВ1-0,14 $w_3 = 14\,000$, ПЭВ1-0,08	
Выходное реле *1РП*			$w_т = w_р = 4\,000$ ПЭВ2-0,1 $I_{ном} = I\ а$, $w_{у1} = w_{у2} = 72$ ПЭВ2-0,38 $I_{ном} = 2\ а$, $w_{у1} = w_{у2} = 36$ ПЭВ2-0,55 $I_{ном} = 4\ а$, $w_{у1} = w_{у2} = 18$ ПЭВ2-0,8	
Дифференциальное реле *1ПР1*		Поляризованное реле *РП7*	$w_т = 1\,400$, ПЭЛ-0,1, $r = 80$ *ом* $w_р = 11\,000$, ПЭЛ-0,1, $r = 1\,250$ *ом*	
Реле коитроля *1ПР2*			$w_к = 240$ $w_р = 9\,000$ $w_т = 630$ } ПЭВ1-0,1	
Сопротивления	*1r1* *1r2*	Проволока константановая ∅ 0,18	$r_{1r1} = r_{1r2} = 0{,}58$ *ом*	
	1r3 *1r4*	Регулируемые	$r_{1r3} = r_{1r4} = 6{,}5$ *ом*	
	1r5	МЛТ, ГОСТ 7113-54	$r = 15$ *ком*, 1 *вт*	
	1r6 *1r7* *1r8*	ПЭ-15, ГОСТ 6513-53	$r = 1\,500$ *ом* $r = 2\,500$ *ом* $r = 2 \times 2\,500$ *ом* Соединены последовательно	$r = 4\,000$ *ом* $r = 5\,000$ *ом* $r = 2 \times 5\,000$ *ом* Соединены последовательно
Кондеисаторы	*1C1* *1C2*	МБГО, ОЖО 462. 023, ТУ	$C_{1C1} = C_{1C2} = 2$ *Мкф* $U_{раб} = 160$ *в*	
	1C3		$C = C' + C''$ Соединены параллельно $C' = 2$ *мкф*, $U_{раб} = 160$ *в* $C'' = 4$ *мкф*, $U_{раб} = 400$ *в*	
	1C4		$C = 30$ *мкф* $= 3 \times 10$ *мкф* $U_{раб} = 160$ *в*	
	1C5	ЭГЦ ОЖО 464, 001 ТУ	$C = 200$ *мкф*, $U_{раб} = 50$ *в*	
Выпрямители	*1MB1* *1MB2*	Диоды германиевые Д7Г	$I = 300$ *ма*, $U_{обр} = 200$ *в* Соединены по схеме моста	
Стабилизаторы	*1CT1* *1CT2*	СГ4С	—	

Таблица 3-140

Технические данные устройства контроля типа УК-1 защиты ДЗЛ-1

Наименование элементов и обозначение их по схеме	Тип		Параметры
Трансформатор *2ТН*			w_1=3 000, ПЭВ2-0,2 w_2=1 300 w_3=1 600 } ПЭВ2-0,29
Дроссель *2Д*			w=14 000, ПЭВ2-0,1 Пакет железа 12×24 *мм*
Реле *2ПР1*	Поляризованное реле РП-7		Внутренняя w_1=4 000, ПЭЛ-0,06, r=600 *ом* Наружная w_2=25 000, ПЭЛ-0,06, r=8 000 *ом* Обмотки соединены последовательно
Сопротивления	*2r1*	МЛТ, ГОСТ 7113-54	r=10 000 *ом*, P=1 *вт*
	2r2		r=100 000 *ом*, P=1 *вт*
	2r3	Регулируемое СП, ГОСТ 5574-50	r=1 000 *ом*, P=1 *вт*
	2r4	Регулируемое ППЗ НГХО 468.001	r=560 *ом*, P=3 *вт*
	2r5	Регулируемое ПЭВ-10× ×ОЖО 467.011 ТУ	r=12 *ом*, P=10 *вт*
Конденсаторь	*2C1*	МБГО	C=1 *мкф*, $U_{раб}$=600 *в*
	2C2	ЭГЦ	C=400 *мкф*=2×200 *мкф* $U_{раб}$=50 *в*
	2C3		C=200 *мкф*, $U_{раб}$=50 *в*
Выпрямители	*2MB*	Диод Д7Г	I=300 *ма*, $U_{обр}$=200 *в* Соединены по схеме моста
	2ДГ1 *2ДГ2*		I=300 *ма*, $U_{обр}$=200 *в*
Микроамперметр *2Г*		Тип 494, ГОСТ 1855-52	Шкала 0—100 *ма*
Микровыключатели *2К1*, *2К2*		Тип ЕИ6 721.000	—

3-57. ПРОДОЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ ТИПА РДЛ

Защита используется в качестве основной для ЛЭП протяженностью до 20 *км* при всех видах к. з.

Защита состоит из следующих элементов (рис. 3-186 и 3-187):

а) двух реле типа РДЛ;
б) двух изолирующих трансформаторов *ТИ*;
в) устройства контроля соединительных проводов;
г) двух выходных реле *РП*;
д) соединительных проводов.

Дифференциальные реле типа РДЛ установлены по концам защищаемой линии и соединены друг с другом посредством изолирующих трансформаторов *ТИ* и соединительных проводов по схеме циркуляции токов.

Реле РДЛ действует при всех видах к. з. и включает в себя:

1. Комбинированный фильтр токов типа I_1+kI_0 (в схеме рис. 3-186), состоящий из трансреактора *ТР* и сопротивлений r_1 и r_0.

Трансреактор имеет три обмотки: две первичные, включенные в фазы *В* и *С* трансформаторов тока, и одну вторичную, к которой подключен выход фильтра. Электродвижущая сила на выходе фильтра пропорциональна составляющим прямой и нулевой последовательностей токов на входе фильтра и определяется выражением:

$$\dot{E}_ф = 2r_1(\dot{I}_1 + k\dot{I}_0),$$

где $\dot{I}_1$ и $\dot{I}_0$ — векторы токов соответственно прямой (фазы *А*) и нулевой последовательностей;

k — коэффициент фильтра, равный $k = \frac{3r_0 + r_1}{2r_1}$;

r_1 — величина сопротивления в фазе *А*;

r_0 — величина сопротивления в нулевом проводе.

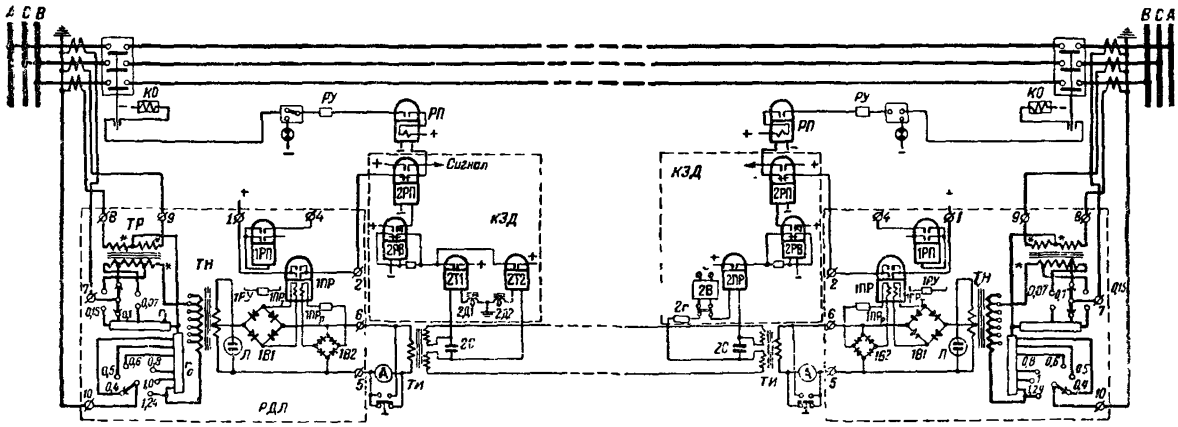


Рис. 3-186. Схема продольной дифференциальной защиты линий электропередач типа РДЛ с фильтром $I_1 + kI_0$ и контролем по схеме Мосэнерго типа КЗД.
Реле *2Т1*, *2Т2* и *2ПР* обтекаются током контроля.

Коэффициент фильтра может изменяться путем изменения отпаек на сопротивлениях r_1 и r_0.

Комбинированный фильтр токов типа I_1+kI_2 (в схеме рис. 3-187). Применение фильтра I_1+kI_2 повышает чувствительность защиты к двухфазным к. з.

Фильтр I_1+kI_2 получается при незначительной переделке из фильтра I_1+kI_0, для чего фазы тока *B* и *C* меняются местами на входе фильтра, общая накладка, соединяющая отпайки вторичной обмотки трансреактора *ТР* с сопротивлением r_1 и с зажимом реле *7*, заменяется двумя отдельными колодками, что дает возможность устанавливать различные значения коэффициента *k*. Нулевой провод от трансформаторов тока подводится к отпайке от сопротивления r_1 на величину $^2/_3 r_1$ от входа тока фазы *A*, при этом фильтр не пропускает токов нулевой последовательности.

Сопротивление r_0 шунтируется или демонтируется. Параллельно лампе *Л* включается конденсатор *1С* емкостью 0,2 *мкф*, который улучшает чувствительность защиты.

При такой схеме включения нагрузка фильтра не согласована с внутренним сопротивлением фильтра, поэтому зависимость отпаек *h* не совпадает с чувствительностью защиты при трехфазном к. з. в режиме одностороннего питания, а определяется по кривой рис. 3-188.

Коэффициент *k* фильтра I_1+kI_2 может быть приближенно подсчитан по выражению

$$k = \frac{r_1 + x}{r_1 - x},$$

где r_1 — отпайка на сопротивлении r_1;
x — отпайка вторичной обмотки трансформатора фильтра.

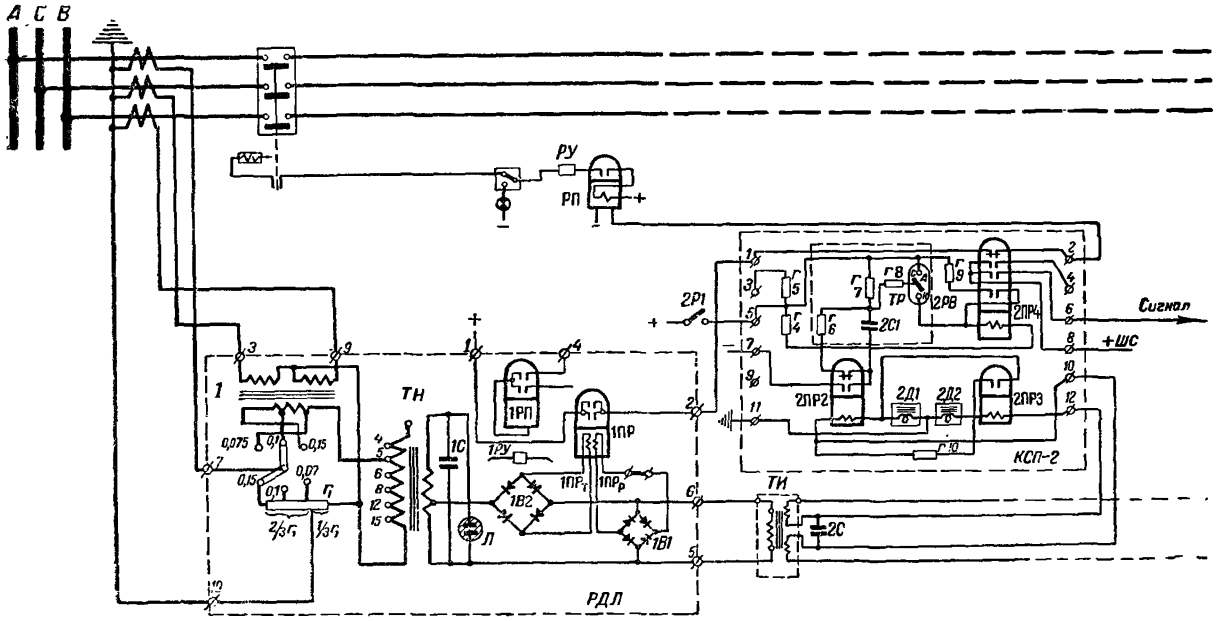


Рис. 3-187. Схема продольной дифференциальной защиты линий электропередач
Реле *2ПР1*, *2ПР2* и *2ПР3* обтекаются током контроля, зажим *3* КСП-2

Целесообразно устанавливать положительный коэффициент $k(r_1 > x)$.

Действительный коэффициент фильтра определяется по соотношению токов срабатывания на фазах *АВ* и *ВС* по кривой рис. 3-189.

Зависимость чувствительности защиты РДЛ от коэффициента k для фильтров I_1+kI_2 и I_1+kI_0 при различных видах к. з. приведена на рис. 3-190.

2. Насыщающийся трансформатор *ТН*. Трансформатор *ТН* совместно с неоновой лампой *Л* представляет собой устройство, ограничивающее величину напряжения на выпрямителях и соединительных проводах. Это позволяет в качестве соединительных проводов применять обычный телефонный кабель.

Кроме того, трансформатор *ТН* обеспечивает равенство напряжений на соединительных проводах по концам линии при токах сквозных к. з., бо́льших токов насыщения.

В этом случае сравниваются не величины токов по концам линии, а их направления.

Трансформатор *ТН* имеет отпайки от первичной обмотки, выведенные на колодку, при помощи которых может регулироваться величина h, характеризующая чувствительность защиты.

3. Выпрямители *1В1* и *1В2*. В реле РДЛ применены два однофазных моста селеновых выпрямителей: *1В1* для питания рабочей обмотки реле *1ПР* и *1В2* для питания тормозной обмотки реле *1ПР*. Каждое плечо моста выпрямителей *1В1* и *1В2* состоит из двух элементов.

4. Поляризованное реле *1ПР*, имеющее рабочую $1ПР_р$ и тормозную $1ПР_т$ обмотки.

Реле имеет тормозную характеристику, которая повышает отстройку защиты от токов небаланса при сквозных к. з.

5. Выходное промежуточное реле *1ПР* по заводской схеме защиты предназначено для усиления малой мощных контактов поляризованного реле *1ПР*. Обмотка реле *1ПР* должна включаться последовательно с контактом реле *1ПР* и катушкой отключения выключателя.

6. Сигнальное реле *1РУ* по заводской схеме включается параллельно обмотке реле *1ПР*.

Выходное реле *1ПР* и сигнальное реле *1РУ* не используются, если на выходе защиты установлены реле *ПР* (типа ЭП-131 или РП-232) и сигнальное реле *РУ*.

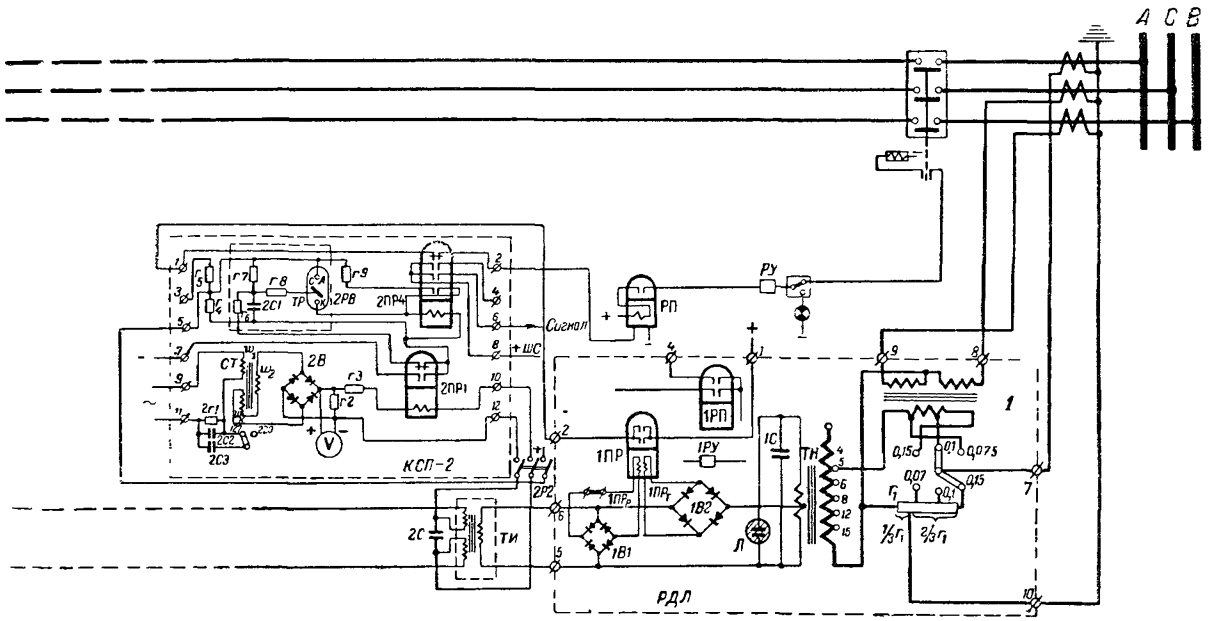
Изолирующий трансформатор *ТИ* и конденсатор *2С* имеют назначение и устройство, аналогичное таковым в защите ДЗЛ-1.

Устройство контроля исправности соединительных проводов. Защита РДЛ по схеме рис. 3-186 имеет периодический и автоматический контроль исправности соединительных проводов.

Периодический контроль осуществляется миллиамперметром *А*, который нормально зашунтирован кнопкой *К*; при нажатии кнопки *К* в среднее положение прибор дешунтируется и измеряет ток, проходящий в первичной обмотке трансформатора *ТИ* от реле данной подстанции, при нажатии кнопки до упора прибор измеряет ток, получаемый от реле противоположной подстанции по соединительным проводам.

Автоматический контроль по схеме Мосэнерго типа КЗД, выпускавшийся до 1958 г. (рис. 3-186), состоит из выпрямителя *2В*, реле минимального тока *2Т1* и *2Т2*, кодового реле *2ПР*, сопротивления *2r*, двух реле времени *2РВ*, двух промреле *2РП* и дросселей *2Д1* и *2Д2*. Постоянный ток контроля нормально циркулирует по соединительным проводам, обмоткам реле *2Т1*, *2Т2*, *2ПР* и вторичным обмоткам трансформаторов *ТИ*.

С питающей стороны контроля (там, где установлен выпрямитель) кодовое реле *2ПР* срабатывает только при обрыве соединительных проводов, с приемной стороны токовые реле *2Т1* и *2Т2* работают при



типа РДЛ с фильтром $I_1 + kI_2$ и контролем по схеме Мосэнерго типа КСП-2. используется при $U = 220$ *в*, а зажим 5—при $U = 110$ *в* постоянного тока.

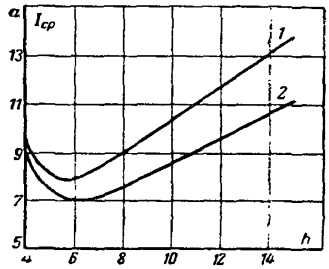


Рис. 3-188. Зависимость тока срабатывания защиты при трехфазном к. з. в режиме одностороннего питания от отпаек h для защиты РДЛ с фильтром I_1+kI_2 при k, равном 4,6.
1 — без конденсатора *1С*; *2* — с конденсатором *1С*.

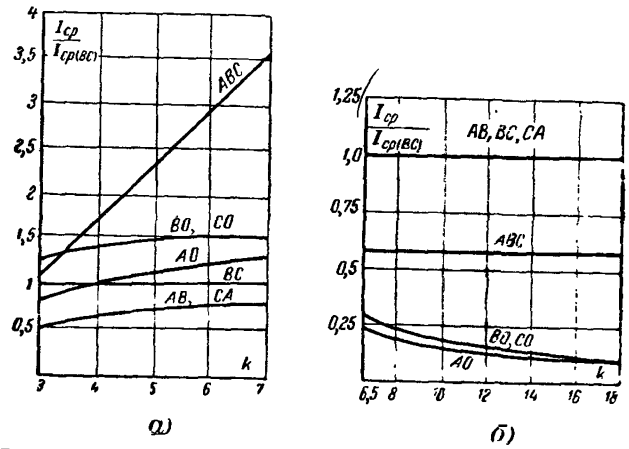


Рис. 3-190. Зависимость чувствительности защиты РДЛ (относительно к. з. на фазах *ВС*) от коэффициента k при различных видах к. з.
а — для фильтра I_1+kI_2; *б* — для фильтра I_1+kI_0.

обрыве проводов и при замыкании их между собой и на землю.

Реле времени *2РВ* предотвращают ложную работу контроля при снижении напряжения питания выпрямителя *2В*, например вследствие к. з.

Защита по схеме рис. 3-187 имеет только автоматический контроль типа КСП-2, выпускаемый ЦЛЭМ Мосэнерго с 1958 г. Источником тока контроля является выпрямитель *2В* из германиевых диодов, включаемый через стабилизирующий трансформатор *СТ*. Поляризованные реле *2ПР1* на питающем конце контроля и *2ПР2* и *2ПР3* на приемном конце являются реагирующими элементами контроля, которые под действием нормально проходящего тока находятся в сработанном положении. При исчезновении или снижении тока контроля вследствие неисправности соединительных проводов реле *2ПР1* и *2ПР2* переключают контакты и подают минус на конденсатор *2С1*, запуская реле времени *2РВ*.

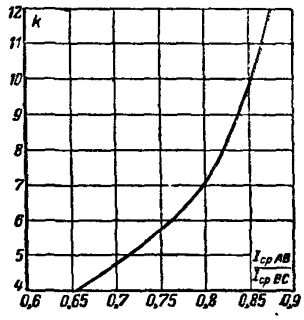


Рис. 3-189. Значения коэффициента k фильтра $I_1 + kI_2$ по отношению токов срабатывания $I_{срАВ}/I_{срВС}$ при одностороннем питании.

В контроле применено конденсаторное реле времени с тиратроном *ТР*. После зарядки конденсатора до напряжения зажигания тиратрона срабатывает реле *2ПР4*, включенное в анодную цепь тиратрона, которое осуществляет сигнализацию и блокировку защиты.

При замыкании на землю провода, в цепь которого включено реле *2ПР3*, последнее, отпадая, шунтирует своим контактом обмотку реле *2ПР2*, и далее схема работает, как рассмотрено выше.

Дроссели *2Д1* и *2Д2* ограничивают ток в соединительных проводах.

Поскольку в контроле КСП-2 реагирующие органы выполнены поляризованными реле, то при нарушении правильной полярности включения соединительных проводов контроль будет реагировать, как на повреждение соединительных проводов. Поэтому отпадает не-

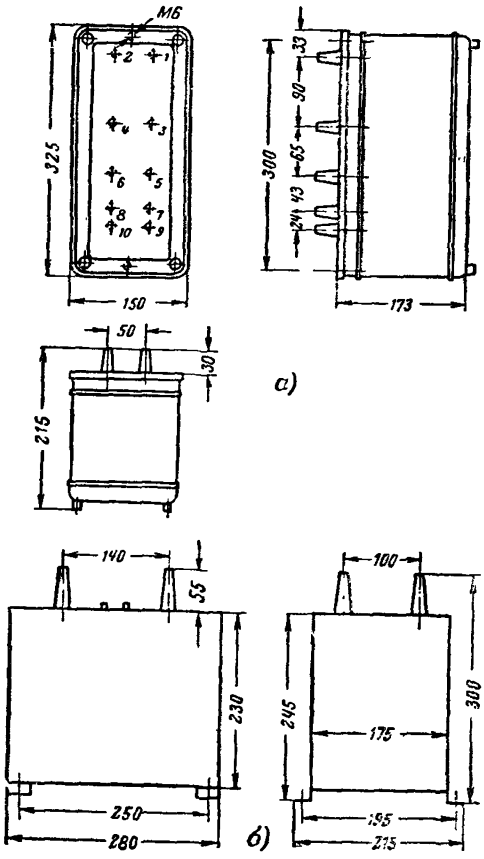


Рис. 3-191. Размеры реле РДЛ и трансформатора ТИ.
а — реле РДЛ; *б* — трансформатор ТИ.

Таблица 3-141

Технические данные защиты РДЛ для частоты 50 *гц*, номинального тока 5 *а*

Наименование параметра		Величина
$U_{ном}$ постоянного тока, *в*		110 или 220
$I_{ср}$ защиты для r_1=0,1 *ом* при трехфазном к. з. в режиме одностороннего питания для схемы рис. 3-186,*а*		4, 5, 6, 8, 10, 12, 15
Уставки сопротивлений фильтра, *ом*	r_1	0,07; 0,1; 0,15
	r_0	0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,24
Избирательное действие защиты обеспечивается при сопротивлении петли соединительных проводов не более, *ом*		2 000
$t_{ср}$ срабатывания реле РДЛ, *мсек*:	1,1 $I_{ср}$	70—80
	2 $I_{ср}$	20—25
	5 $I_{ср}$	14
$P_{потр}$, *ва* на фазу		4,5
Изоляция токоведущих частей реле РДЛ и трансформатора *ТИ* выдерживает относительно корпуса при 50 *гц* в течение 1 *мин*, *в*		2 000
$U_{макс}$ возможное, *в*	на выпрямителях *1В1* и *1В2*	15—18
	на соединительных проводах	60—70
Напряжение зажигания неоновой лампы, *в*		60
Ток зажигания неоновой лампы, *а*		0,3
$n_т$ трансформатора *ТИ* (при последовательном соединении вторичных обмоток)		4
Величина емкости конденсатора *2С*, *мкф*		10
Величина емкости конденсатора *1С* (рис. 3-187), *мкф*		0,2
Вес реле РДЛ, *кг*		7,5
Вес трансформатора *ТИ*, *кг*		19

Таблица 3-142

Технические данные устройства контроля исправности соединительных проводов защиты РДЛ

Наименование параметра	Величина	
	Контроль по схеме Мосэнерго типа	
	КЗД (до 1958 г.)	КСП-2 (после 1958 г.)
Напряжение постоянного тока контроля, *в*	80	25
Ток контроля, *ма*	5	0,8
Переменное напряжение питания выпрямителя, *в*	127, 220	127, 220
Чувствительность контроля, *ом*:		
при замыкании на землю	4 500	7 000—8 000
при замыкании между жилами	9 000	7 000—8 000
Выдержка времени контроля, *сек*	5—9	

Таблица 3-143

Технические данные элементов контроля соединительных проводов типа КСП-2 (рис. 3-187)

Наименование элемента и обозначение по схеме		Тип	Технические данные
Стабилизирующий трансформатор *СТ*		—	w_1=1 650, ПЭЛ-0,44 $w_к$=70, ПЭЛ-0,15 w_2=440, ПЭЛ-0,15 Сталь Ш-20, пакет 25 *мм*
Конденсаторы	*2С1*	КМБГ	*С*=4 *мкф*, $U_{раб}$=160 *в*
	2С2	МБГП-1	*С*=1 *мкф*, $U_{раб}$=600 *в*
	2С3		*С*=2 *мкф*, $U_{раб}$=600 *в*
Сопротивления	*r1*	МЛТ	*r*=0,5—1 *Мом*
	r2	ВС	*r*=2 *ком*, 4 *вт*
	r3	МЛТ	*r*= 5 *ком*, 0,25 *вт*
	r4	П-III тип	*r*=2×1 000 *ом*
	r5	П-III тип	*r*=2×1 000 *ом*
	r6		*r*×4 *ком*, 0,25 *вт*
	r7	МЛТ	*r*=1 *Мом*, 0,25 *вт*
	r8		*r*=100 *ком*, 0,25 *вт*
	r9	ВС	*r*=3 *ком*, 2 *вт*
	r10	МЛТ	*r*=3 *ком*, 0,25 *вт*
Тиратрон *ТР*		МХТ-90	—
Дроссели *2Д1, 2Д2*			*w*=10 000, ПЭЛ-0,08, *r*=3 500 *ом*, *z*=250 000 *ом* (при 50 *гц*)
Реле *2ПР4*		РКНВ	*w*=26 000 ПЭЛ-0,1 *r*=3 000 *ом*, $i_{ср}$=7—8 *ма*
Реле *2ПР1, 2ПР2, 2ПР3*		РП-7	*w*=30 000, ПЭЛ-0,07 *r*=6 500 *ом* $I_{ср}$=0,63—0,64 *ма* $k_в$=0,6 *(2ПР2, 2ПР3)* $k_в$=0,2—0,3 *(2ПР1)*, зазор в контактах 0,25 *м*
Выпрямитель *2В*		—	Однофазный мост из диодов ДГ-Ц21 или ДГ-Ц27
Вольтметр		М-52	Шкала 50 *в*

обходимость фазировки персоналом служб защиты соединительных проводов после работы в их цепях. Дежурный, включая контроль, по отсутствию сигнала контроля убеждается в правильном включении соединительных проводов.

Устройство контроля типа КСП-2 смонтировано в двух кожухах, размеры которых такие же, как и устройства контроля типа УК-1 на рис. 3-183, но присоединение наружных проводов производится не к 8 зажимам реле, а к 12.

Поведение защиты РДЛ при к. з. в зоне и вне зоны и при повреждениях соединительных проводов такое же, как и защиты ДЗЛ-1.

Габаритные и установочные размеры реле РДЛ, которое выпускается только для заднего присоединения и изолирующего трансформатора *ТИ*, приведены на рис. 3-191, а технические данные защиты РДЛ и контроля соединительных проводов указаны в табл. 3-141—3-143.

3-58. РЕЛЕ НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЕ ТИПА РНБ-231

Реле применяется в качестве реле минимального напряжения в схемах максимальной токовой защиты для осуществления пуска по минимальному напряжению.

Реле минимального напряжения РНБ-231 выполнено на четырехполюсной индукционной системе с цилиндрическим ротором, подобной системе реле РБМ, и имеет две обмотки, включаемые на линейные напряжения трехфазной системы переменного тока. Реле реагирует на площадь треугольника линейных напряжений, подведенных к реле.

Схема реле приведена на рис. 3-192. Реле имеет один замыкающий и один размыкающий контакты.

Реле имеет такие же габаритные и установочные размеры, как и устройство контроля типа УК-1 (рис. 3-183).

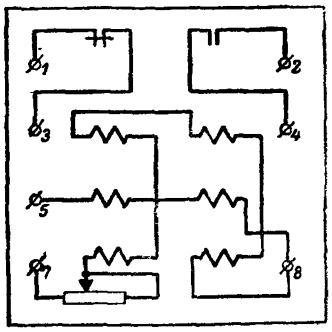


Рис. 3-192. Схема соединений реле напряжения типа РНБ-231.

Технические данные реле РНБ-231 приведены в табл. 3-144.

Таблица 3-144

Технические данные реле напряжения типа РНБ-231

Наименование параметра	Величина
$U_{ном}$, *в*	100
$U_{ср}$ трехфазного симметричного напряжения, *в*	45—75
$k_в$	0,96—0,97
$P_{потр}$ суммарное реле при напряжении 100 *в*, *ва*	Не более 5
$t_{ср}$ реле при снижении напряжения от 100 *в* до 80% уставки, *сек*	Не более 0,04
Термическая устойчивость, % $U_{ном}$	110
$P_{конт.разр}$ в цепи постоянного тока (T=5·10^{-3} *сек*) при напряжении до 220 *в* и токе до 2 *а*, *вт*	50
Вес реле, *кг*	4,5

3-59. ГАЗОВОЕ РЕЛЕ ТИПА ПГ-22

Реле применяется для защиты трансформаторов и других маслонаполненных аппаратов, снабженных расширителями (масляных реакторов, дугогасящих катушек и др.), от всех видов повреждений внутри бака и от понижения уровня масла.

Газовое реле представляет собой герметически закрытый металлический корпус с патрубками, при помощи которых оно врезается в рассечку маслопровода диаметром 3″ между трансформатором и расширителем.

Газовое реле типа ПГ-22 имеет два цилиндрических поплавка — сигнальный *1* (рис. 3-193) и отключающий *3*, которые несут на себе ртутные контакты *5*. Поплавки с контактами могут поворачиваться на осях и снабжены регулировочными устройствами в виде грузов *2* и *4*.

Перемещением грузов может меняться плавучесть поплавков, а следовательно, и чувствительность газового реле. Грузом *2* настраивается на срабатывание (опускание) сигнальный поплавок при заданном объеме газа в корпусе реле.

Грузом *4* производится регулировка чувствительности отключающего поплавка *3* на опускание при заданной скорости перетока масла через газовое реле.

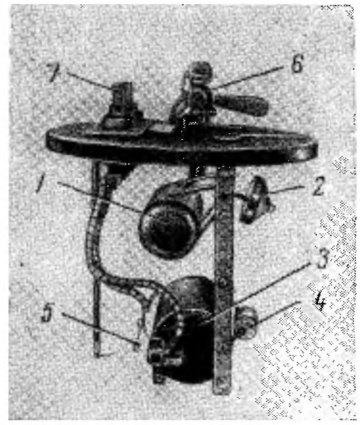


Рис. 3-193. Крышка и конструкция внутренних деталей газового реле типа ПГ-22.

1 — сигнальный поплавок; *2*, *4* — регулировочные грузы; *3* — отключающий поплавок; *5* — ртутный контакт; *6* — кран для выпуска газа; *7* — выводы контактов.

На рис. 3-194 дана конструкция отключающего поплавка реле ПГ-22, а в табл. 3-145 приведены технические данные реле ПГ-22.

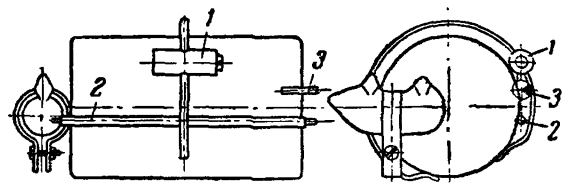


Рис. 3-194. Конструкция отключающего поплавка газового реле ПГ-22, МТЗ и ЗТЗ.

1 — регулирующий груз; *2* — ось вращения; *3* — упорный штифт.

Таблица 3-145

Технические данные газового реле типа ПГ-22, выпускаемого заводом ЗТЗ с 1951 г. и МТЗ с 1955 г. (с заводского номера реле 596)

Наименование параметра	Величина
Объем газа в реле, обеспечнвающий регулируемые пределы срабатывания сигнального поплавка, *см*^{3}	250—550
Объем газа, на который настраивается на заводе чувствительность сигнального поплавка, *см*^{3}	250—300
Пределы шкалы, указывающей уровень газа в реле, *см*^{3}	300—600
Вес регулирующего груза отключающего поплавка, *г*	20
Скорость потока масла в маслопроводе диаметром 3″, при которой срабатывает отключающий поплавок при установке груза на минимальную чувствительность, *м/сек*	0,5—0,8
$t_{ср}$ отключающего элемента реле, *сек*	0,3—0,4

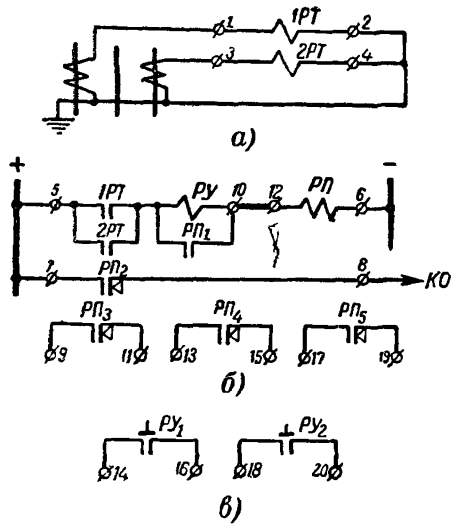


Рис. 3-195. Принципиальная схема комплекта защиты типа КЗ-1.
а — цепи переменного тока; *б* — цепи оперативного постоянного тока; *в* — цепи сигнализации.

В настоящее время Запорожским трансформаторным заводом выпускаются газовые реле типа РГЗ-22, которые отличаются от реле ПГ-22 тем, что имеют невибрирующие контакты типа Р-18; в этих контактах отсутствует электрод, постоянно погруженный в ртуть; по всем параметрам реле типа РГЗ-22 аналогичны реле типа ПГ-22.

3-60. КОМПЛЕКТНЫЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ТИПА КЗ

Применяются для защиты электрического оборудования (линий электропередач, электродвигателей, трансформаторов).

Комплекты защиты типа КЗ в зависимости от ис-

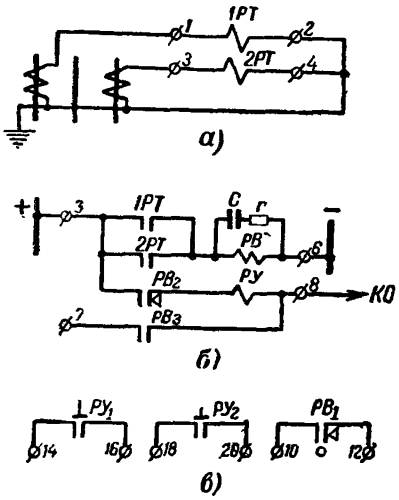


Рис. 3-196. Принципиальная схема комплекта защиты типа КЗ-2.
а — цепи переменного тока; *б* — цепи оперативного постоянного тока; *в* — цепи сигнализации; к зажиму реле 7 присоединяется цепь ускорения защиты после АПВ.

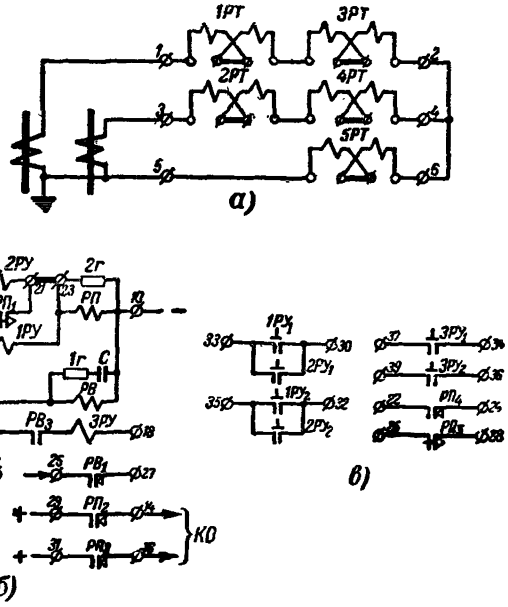


Рис. 3-197. Принципиальная схема комплекта защиты типа КЗ-3.
а — цепи переменного тока; *б* — цепи оперативного постоянного тока; *в* — цепи сигнализации.

полнения позволяют выполнять различные типы максимальных токовых защит.

Все элементы комплекта защиты смонтированы в одном кожухе. Присоединение всех реле, за исключением промежуточных реле типа РП-341, реле времени типа РВМ-13 и реле мощности типа ИМБ-170, выполнено на колодках со штепсельными разъемами, что позволяет производить осмотр или замену реле, не нарушая монтажа.

Основные технические данные. Назначение комплектов защит типа КЗ и реле, входящие в них, приведены в табл. 3-146.

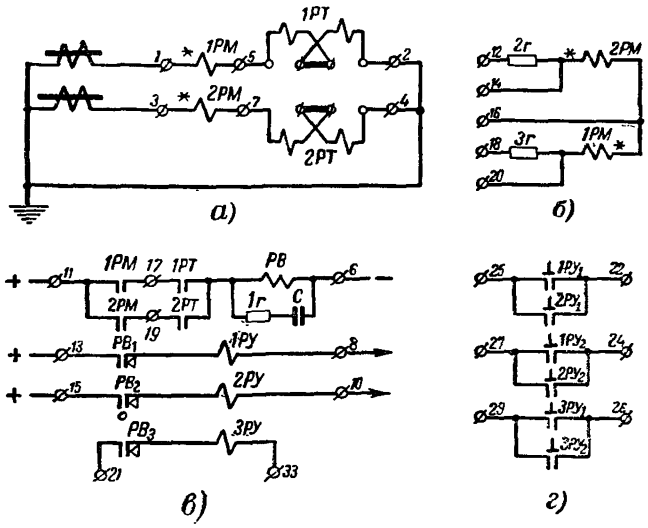


Рис. 3-198. Принципиальная схема комплекта защиты типа КЗ-4.
а — цепи переменного тока; *б* — цепи переменного напряжения; *в* — цепи оперативного постоянного тока; *г* — цепи сигнализации.

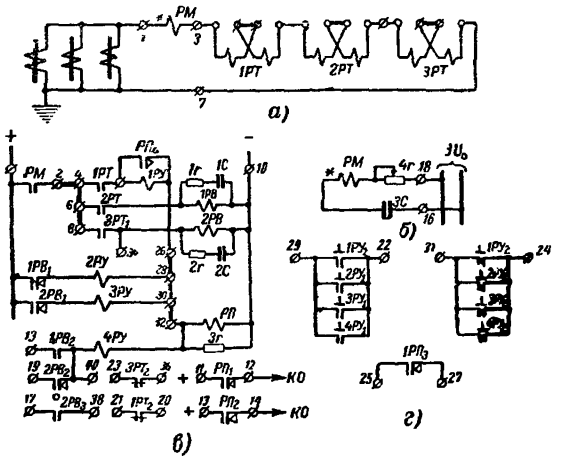


Рис. 3-199. Принципиальная схема комплекта защиты типа КЗ-5.
а — цепи переменного тока; *б* — цепи переменного напряжения; *в* — цепи оперативного постоянного тока; *г* — цепи сигнализации; зажимы *13, 19, 17* присоединяются к цепям ускорения защиты после АПВ; к зажимам *25, 27* присоединяются цепи телесигнализации.

В комплектах защиты типа КЗ применены токовые реле типа РТ-50, которые выпускаются на следующие максимальные токи срабатывания: 0,2; 0,6; 2; 6; 10; 20; 50; 100; 200 *а* (минимальные токи срабатывания меньше максимальных в 4 раза).

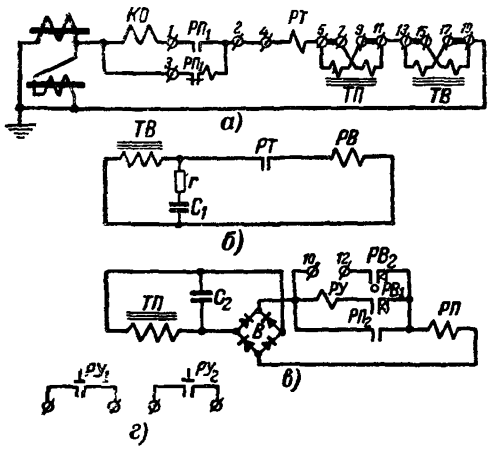


Рис. 3-200. Принципиальная схема комплекта защиты типа КЗ-31.
а — первичные цепи переменного тока; *б* — вторичные цепи переменного тока; *в* — цепи выпрямленного тока; *г* — цепи сигнализации.

Сигнальные реле типа РУ-21 имеют следующие токи срабатывания: 0,01; 0,015; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,15; 0,25; 0,5; 1; 2; 4 *а*.

Реле направления мощности исполняются на номинальный ток 5 или 1 *а*. Комплекты защиты на оперативном постоянном токе выполняются на напряжения 24, 48, 110, 220 *в*.

Схемы комплектов защит типа КЗ приведены на рис. 3-195—рис. 3-203, а габаритные и установочные размеры даны на рис. 3-204 и рис. 3-205.

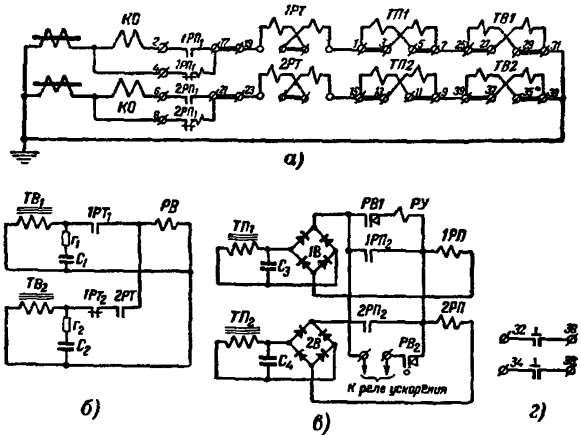


Рис. 3-201. Принципиальная схема комплекта защиты типа КЗ-32.
а — первичные цепи переменного тока; *б* — вторичные цепи переменного тока; *в* — цепи выпрямленного тока; *г* — цепи сигнализации.

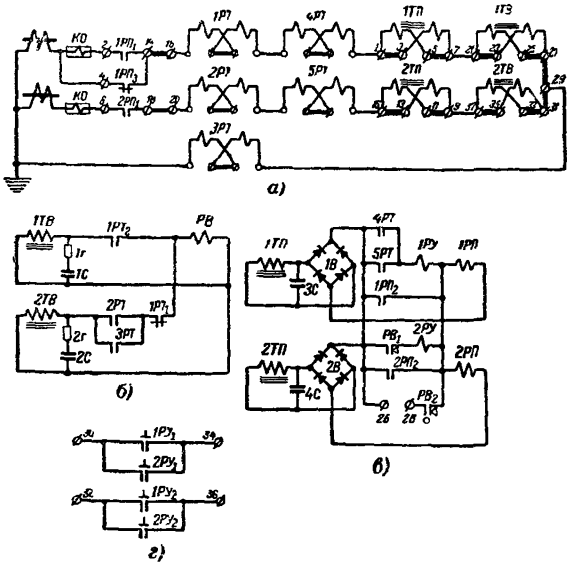


Рис. 3-202. Принципиальная схема комплекта защиты типа КЗ-33.
а — первичные цепи переменного тока; *б* — вторичные цепи переменного тока; *в* — цепи выпрямленного тока; *г* — цепи сигнализации.

СОКРАЩЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В ТАБЛИЦАХ РАЗДЕЛА 3

$I_{ном}$ — номинальный ток;
$I_{ср}$ — ток срабатывания;
$I_{ср.мин}$ — минимальный ток срабатывания;
$I_{длит}$ — ток термической устойчивости длительный;
$I_{1сек}$ — ток термической устойчивости односекундный;
$I_р$ — рабочий ток;
$I_т$ — тормозной ток;
U — напряжение;
$U_{ном}$ — номинальное напряжение;
$U_{ср}$ — напряжение срабатывания;
$U_в$ — напряжение возврата;

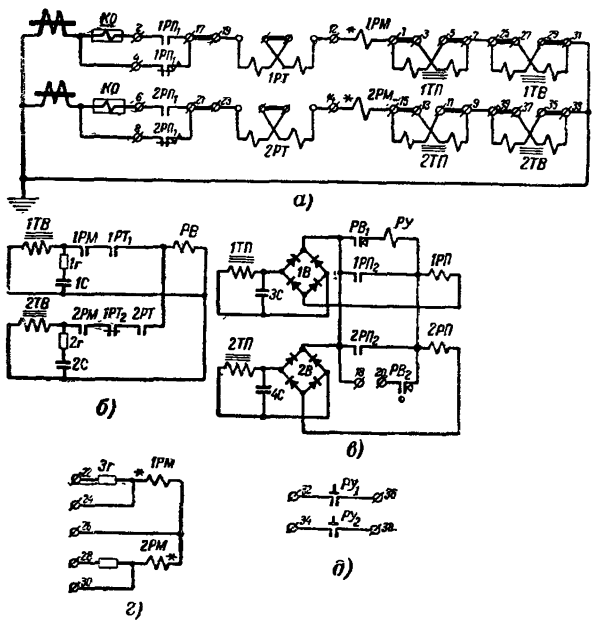


Рис. 3-203. Принципиальная схема комплекта защиты типа КЗ-34.

а — первичные цепи переменного тока; *б* — вторичные цепи переменного тока; *в* — цепи выпрямленного тока; *г* — цепи напряжения; *д* — цепи сигнализации.

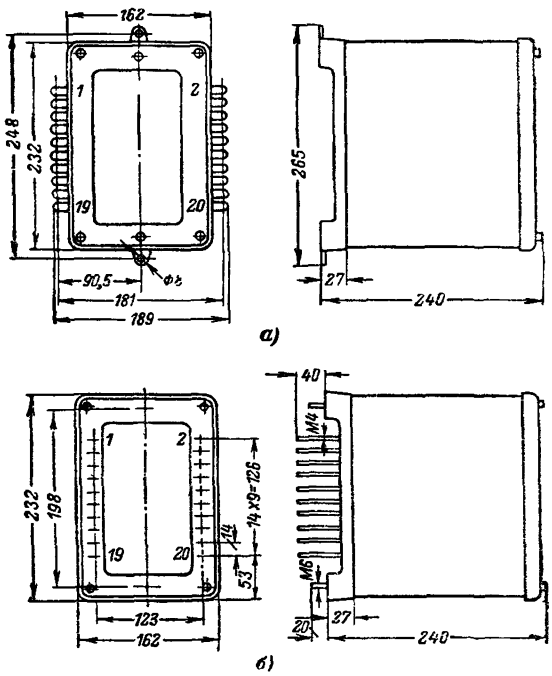


Рис. 3-204. Размеры комплектов защиты типов КЗ-1, КЗ-2, КЗ-31.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

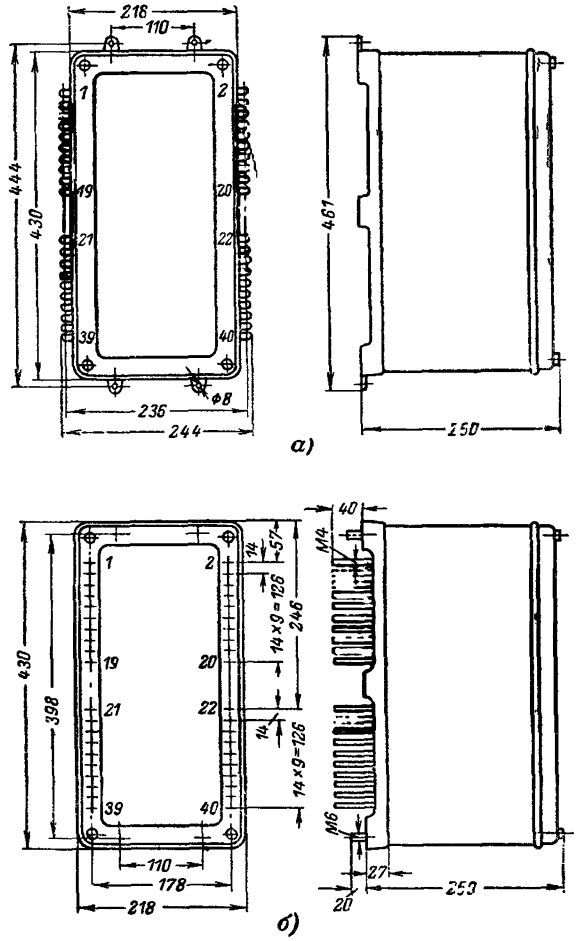


Рис. 3-205. Размеры комплектов защиты типов КЗ-3, КЗ-4, КЗ-5, КЗ-32, КЗ-33, КЗ-34.
а — переднее присоединение; *б* — заднее присоединение.

$U_{длит}$ — напряжение термической устойчивости длительное;
$U_{макс}$ — максимальное напряжение;
$z_{ср}$ — полное сопротивление срабатывания;
$z_{ср.мин}$ — полное сопротивление срабатывания минимальное;
$z_у$ — полное сопротивление уставки;
$z_р$ — полное сопротивление реле;
$f_{ном}$ — номинальная частота;
$f_{ср}$ — частота срабатывания;
$P_{ср}$ — мощность срабатывания;
$P_{потр}$ — потребляемая мощность;
$P_{конт.разр}$ — разрывная мощность контактов;
$F_{ном}$ — номинальная намагничивающая сила (ампер-витки);
$F_р$ — рабочие ампер-витки;
$F_т$ — тормозные ампер-витки;
$F_{ср}$ — ампер-витки срабатывания;
$t_{ср}$ — время срабатывания;
$k_т$ — коэффициент торможения;
$k_н$ — коэффициент надежности;
$n_т$ — коэффициент трансформации;
$\varphi_{м.ч}$ — угол максимальной чувствительности;
r — сопротивление;
$r_{доб}$ — добавочное сопротивление.

Назначение комплектов защиты типа КЗ и реле, входящие в них

Таблица 3-146

Тип комплекта	Тип защиты	Схема защиты	Комплект содержит реле														
			тока			мощности			времени			промежуточное			указательное		
			Обозначение на схеме	Тип	Количество	Обозначение на схеме	Тип	Количество	Обозначение на схеме	Тип	Количество	Обозначение на схеме	Тип	Количество	Обозначение на схеме	Тип	Количество
КЗ-1	Токовая отсечка мгновенного действия в двухфазном двухрелейном исполнении на оперативном постоянном токе	Рис. 3-195	*1РТ, 2РТ*	РТ-50	2	—	—	—	—	—	—	*РП*	РП-251	1	*РУ*	РУ-21	1
КЗ-2	Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени в двухфазном двухрелейном исполнении на оперативном постоянном токе	Рис. 3-196	*1РТ, 2РТ*	РТ-50	2	—	—	—	*РВ*	ЭВ-132	1	—	—	—	*РУ*	РУ-21	1
КЗ-3	Токовая отсечка мгновенного действия и максимальная токовая защита с выдержкой времени в двухфазном исполнении на оперативном постоянном токе	Рис. 3-197	*1РТ, 2РТ, 3РТ, 4РТ, 5РТ*	РТ-50	5	—	—	—	*РВ*	ЭВ-132	1	*РП*	РП-251	1	*1РУ, 2РУ, 3РУ*	РУ-21	3
КЗ-4	Максимальная токовая направленная защита с выдержкой времени в двухфазном исполнении на оперативном постоянном токе	Рис. 3-198	*1РТ, 2РТ*	РТ-50	2	*1РМ, 2РМ*	ИМБ-171	2	*РВ*	ЭВ-132	1	—	—	—	*1РУ, 2РУ, 3РУ*	РУ-21	3
КЗ-5	Трехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности для сетей с большим током замыкания на землю на оперативном постоянном токе	Рис. 3-199	*1РТ, 2РТ, 3РТ*	РТ-50	3	*РМ*	РБМ-177	1	*1РВ, 2РВ*	ЭВ-132 ЭВ-134	1 1	*РП*	РП-251	1	*1РУ, 2РУ, 3РУ, 4РУ*	РУ-21	4
КЗ-31	Максимальная токовая защита в двухфазном однорелейном исполнении на оперативном переменном токе	Рис. 3-200	*РТ*	РТ-50	1	—	—	—	*РВ*	РВМ-13	1	*РП*	РП-341	1	*РУ*	РУ-21	1
КЗ-32	Максимальная токовая защита в двухфазном исполнении на оперативном переменном токе	Рис 3-201	*1РТ, 2РТ*	РТ-50	2	—	—	—	*РВ*	РВМ-13	1	*1РП 2РП*	РП-341	2	*РУ*	РУ-21	1
КЗ-33	Токовая отсечка мгновенного действия и максимальная токовая защита с выдержкой времени в двухфазном исполнении на оперативном переменном токе	Рис. 3-202	*1РТ, 2РТ, 3РТ, 4РТ, 5РТ*	РТ-50	5	—	—	—	*РВ*	РВМ-13	1	*1РП 2РП*	РП-341	2	*1РУ, 2РУ*	РУ-21	2
КЗ-34	Максимальная токовая направленная защита с выдержкой времени в двухфазном исполнении на оперативном переменном токе	Рис. 3-203	*1РТ, 2РТ*	РТ-50	2	*1РМ, 2РМ*	ИБМ-171	2	*РВ*	РВМ-13	1	*1РП, 2РП*	РП-341	2	*РУ*	РУ-21	1

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

СХЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА ПОСТОЯННОМ И ПЕРЕМЕННОМ ОПЕРАТИВНОМ ТОКЕ[1]

4-1. ЗАЩИТА ШИН

а) Общие положения

1. В сетях с глухозаземленной нулевой точкой (с большими токами замыкания на землю) устанавливается защита шин от замыканий между фазами и на землю.

В сетях с изолированной нулевой точкой или заземленной через высокоомные сопротивления (с малыми токами замыкания на землю) устанавливается защита шин только от замыкания между фазами и двойных замыканий на землю.

2. Для подстанций 35 *кв* и выше, выполненных по схеме многоугольника или мостика, специальная защита шин не предусматривается, а шины вводятся в зону действия быстродействующих защит присоединенных элементов.

3. В схеме защиты шин должны быть предусмотрены испытательные зажимы или испытательные блоки, обеспечивающие без отсоединения проводов и кабелей присоединение к схеме испытательных аппаратов для проверки и наладки защиты, а также для изменения схемы токовых цепей у шиносоединительных и обходных выключателей.

б) Условия для применения защиты шин

Специальные защиты шин применяются в тех случаях, когда защита присоединений не обеспечивает требуемого быстродействия или селективности.

Быстродействующая защита шин применяется:

1) если остаточное напряжение на неповрежденных шинах станций или подстанций оказывается ниже 0,6 $U_н$ при трехфазном коротком замыкании на ближайших к ним шинах и отключение этого повреждения защитами с выдержкой времени приводит:

к нарушению устойчивости параллельной работы электростанций или энергосистемы;

к саморазгрузке электроустановки ответственного потребителя вследствие лавины напряжения;

2) для шин напряжением 35 *кв* ответственных подстанций, работающих постоянно на двух системах или секциях шин, если дифференциальная защита на шиносоединительном или секционном выключателе не удовлетворяет требованиям надежной работы системы;

3) для шин напряжением 110 *кв* и выше электростанций и подстанций в случае двойной системы шин при одновременной работе на обеих системах шин и в случае одиночной секционированной системы шин;

4) для шин 6—10 *кв* мощных понизительных подстанций в целях ускорения действия защиты;

5) для секционированных шин напряжением 3—10 *кв* в целях обеспечения селективного и быстрого отключения повреждения.

в) Основные требования к защите шин

1. Для шин электростанций и подстанций напряжением 110 *кв* и выше предусматривается, как правило, дифференциальная токовая защита без выдержки времени, охватывающая все элементы, присоединенные к системе или секции шин.

Для двойной системы шин электростанций и подстанций напряжением 110 *кв* и выше с одним выключателем на присоединение при одновременной работе на обеих системах шин применяется дифференциальная защита в исполнении для фиксированного присоединения элементов.

2. Дифференциальная защита шин выполняется, как правило, со вспомогательными насыщающимися трансформаторами тока, что повышает надежность защиты шин и позволяет снизить сечение контрольного кабеля в токовых цепях защиты.

3. В схемах полных дифференциальных защит шин предусматривается автоматический контроль исправности вторичных цепей трансформаторов тока, реагирующий на обрыв и заземление цепи, блокирующий защиту с выдержкой времени и действующий одновременно на сигнал.

Для периодического контроля целости цепи тока обычно применяется миллиамперметр, включенный в нулевой провод защиты.

4. Трансформаторы тока, используемые для дифференциальных защит шин, размещаются следующим образом.

Встроенные трансформаторы тока размещаются таким образом, чтобы повреждения в выключателе входили в зону действия защиты шин и защит присоединений, отходящих от этих шин.

Для выключателей, не имеющих встроенных трансформаторов тока, устанавливается один комплект трансформаторов тока так, чтобы выключатели входили в зону действия защиты шин.

На секционных выключателях напряжением 3—10 *кв* для дифференциальной защиты шин, если это выполнимо по конструктивным условиям (не требуется дополнительной ячейки), следует устанавливать трансформаторы тока с двух сторон выключателей.

При установке трансформаторов тока только с одной стороны выключателя короткое замыкание между трансформаторами тока и выключателем не ликвидируется защитой шин. В целях уменьшения размеров погашений потребителей и разрушений в месте повреждений для ответственных электроустановок предусматривается специальное устройство резервирования.

В случае применения для шин, соединенных по схеме многоугольника или мостика, специальных устройств для отключения рассмотренных выше коротких замыканий указанные устройства должны выполняться с учетом обеспечения резервирования отказа выключателей.

5. Защита шин выполняется таким образом, чтобы при опробовании системы или секции шин было обеспечено достаточно быстрое и селективное отключение опробуемой системы шин или секции в случае их повреждения.

---

[1] При составлении настоящего раздела справочника руководствовались «Правилами устройства электротехнических установок», ч. III. Приведенные схемы составлены на основе «Руководящих указаний по релейной защите», а также типовых материалов Теплоэлектропроекта и Энергосетьпроекта.

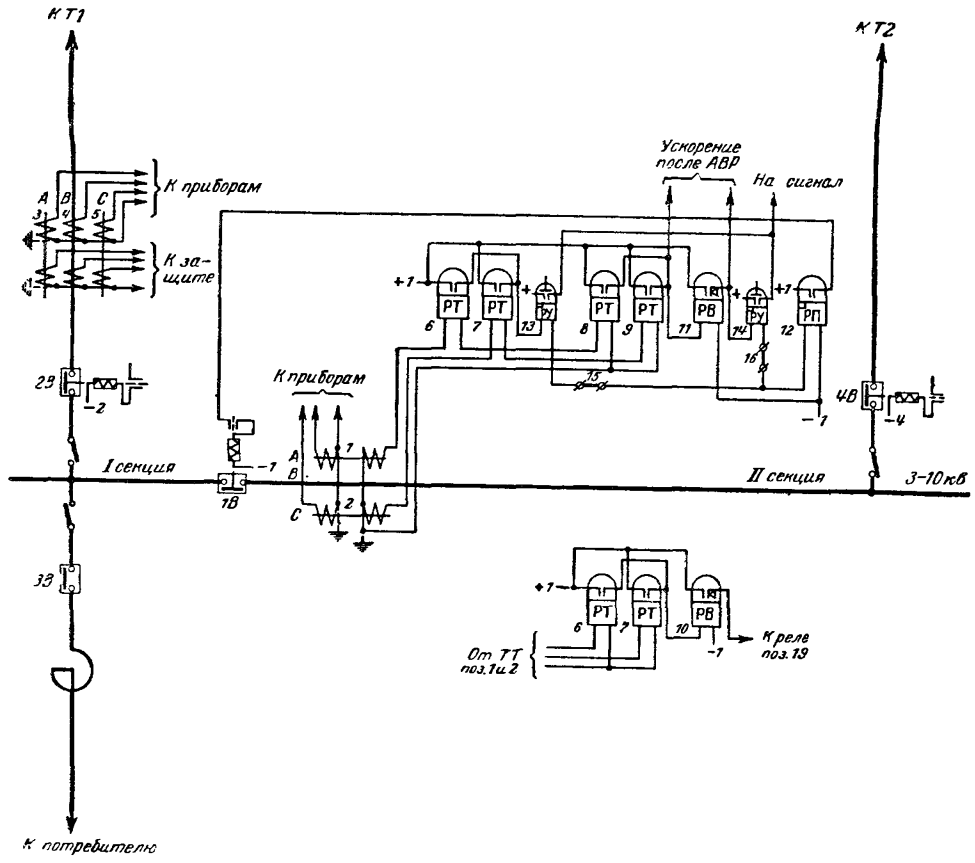


Рис. 4-1. Схема максимальной токовой защиты одиночной системы шин 3—10 *кв*, установленной на секционном выключателе понизительной подстанции.

1—5 — трансформатор тока; *6—9* — реле тока типа ЭТ-521; *10* — реле времени типа ЭВ-124А; *11* — реле времени типа ЭВ-134А; *12* — реле промежуточное типа РП-24; *13—14* — реле указательное типа РУ-21; *15—16* — отключающее устройство типа НКР-2.

6. Заземление во вторичных цепях объединенных комплектов трансформаторов тока предусматривается в одной точке в удобном для присоединения месте (как правило, на щите, где расположены реле защиты).

7. Трансформаторы тока для защиты шин должны удовлетворять 10%-ной погрешности или должны быть проверены по кривым намагничивания.

8. Для цепей напряжения защиты шин потеря напряжения от трансформаторов напряжения до панелей защиты не должна превышать 3% при работе всех защит и приборов (при максимальной нагрузке на трансформатор напряжения).

9. Для выравнивания токов в схемах дифференциальных защит при неодинаковых коэффициентах трансформации трансформаторов тока используются уравнительные обмотки дифференциальных реле типов РНТ и ДЗТ (с учетом их термической устойчивости).

Применение для выравнивания автотрансформаторов тока типа ВУ-25Б не рекомендуется по причине ухудшения условий работы насыщающихся трансформаторов тока реле типов РНТ и ДЗТ.

10. Применение для дифференциальных защит шин однотипных трансформаторов тока не является обязательным, так как при внешних коротких замыканиях трансформаторы тока отдельных элементов обтекаются токами различной величины, а поэтому применение трансформаторов тока с идентичными характеристиками преимуществ не дает.

11. Вторичные обмотки трансформаторов тока всех элементов для защиты шин собираются и объединяются в распределительном устройстве в целях экономии контрольного кабеля.

12. В схемах неполной дифференциальной и дистанционной защит шин с выдержками времени предусматривается мгновенный замер для:

уменьшения влияния сопротивления дуги в месте повреждения;

исключения влияния затухания тока короткого замыкания;

предотвращения отказа защиты из-за уменьшения суммарного тока короткого замыкания в процессе качаний.

Мгновенный замер применяется в тех случаях, когда это допускается конфигурацией сети (отсутствуют кольцевые и параллельные линии).

13. Включение электроизмерительных приборов в токовые цепи дифференциальной защиты шин допускается только через промежуточные трансформаторы тока при условии, что основные трансформаторы тока удовлетворяют требованиям, приведенным в п. 7, при разомкнутой вторичной цепи промежуточных трансформаторов.

г) Принципиальные схемы защиты шин 3—10 кв (с малыми токами замыкания на землю, с одним выключателем на присоединенный элемент)

1. *Схема максимальной токовой защиты одиночной системы шин 3—10 кв, установленной на секционном выключателе понизительной подстанции (рис. 4-1)* [1].

Схема применяется для защиты одиночной секционированной системы шин понизительных подстанций с трансформаторами малой мощности, с выключателями на отходящих линиях, не рассчитанными на отключение коротких замыканий до реакторов этих линий.

Токовая отсечка предназначена для отключения повреждения на шинах, а чувствительная токовая защита — для резервирования защит линий, отходящих от шин, а также вышеуказанной токовой отсечки. Защита без выдержки времени отделяет неповрежденную секцию от поврежденной.

В схеме предусмотрено ускорение действия защиты после включения секционного выключателя на короткое замыкание от АВР.

При установке выключателей на линиях, отходящих от шин, рассчитанных на отключение коротких замыканий до реакторов, токовую отсечку защиты шин следует дополнить выдержкой времени, как показано на рис. 4-1,*а*.

Защита должна согласовываться с максимальной токовой защитой трансформаторов.

2. *Схема неполной дифференциальной токовой защиты одиночной системы шин 3—10 кв понизительной подстанции (рис. 4-2).*

Схема применяется для защиты одиночной секционированной системы шин понизительной подстанции с выключателями, не рассчитанными на отключение коротких замыканий до реакторов этих линий.

Схема содержит токовую отсечку без выдержки времени и чувствительную максимальную токовую защиту с выдержкой времени. Токовая отсечка предназначена для отключения повреждения на шинах, а чувствительная защита — для резервирования защит линий, отходящих от шин, а также вышеуказанной токовой отсечки. Защита действует на отключение выключателя трансформатора и секционного выключателя.

[1] Здесь и далее приводятся примерные принципиальные схемы выполнения тех или иных устройств релейной защиты.

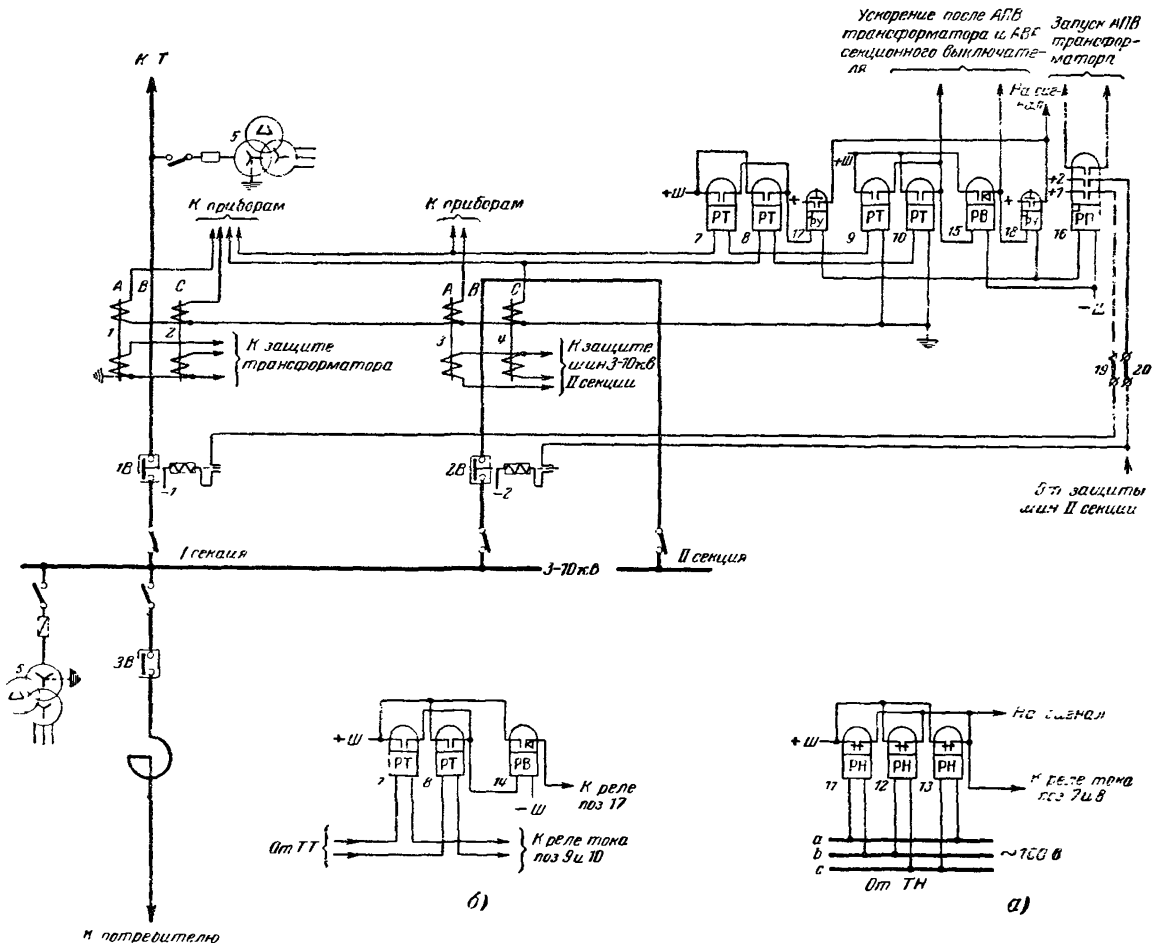


Рис. 4-2. Схема неполной дифференциальной токовой защиты одиночной системы шин 3—10 кв понизительной подстанции.

1—4—трансформатор тока; *5—6*—трансформатор напряжения; *7—10*—реле тока типа ЭТ-521; *11—13*—реле напряжения типа ЭН-529; *14*—реле времени типа ЭВ-124А; *15*—реле времени типа ЭВ-134А; *16*—реле промежуточное типа РП-24; *17—18*—реле указательное типа РУ-21; *19—20*—отключающее устройство типа НКР-2.

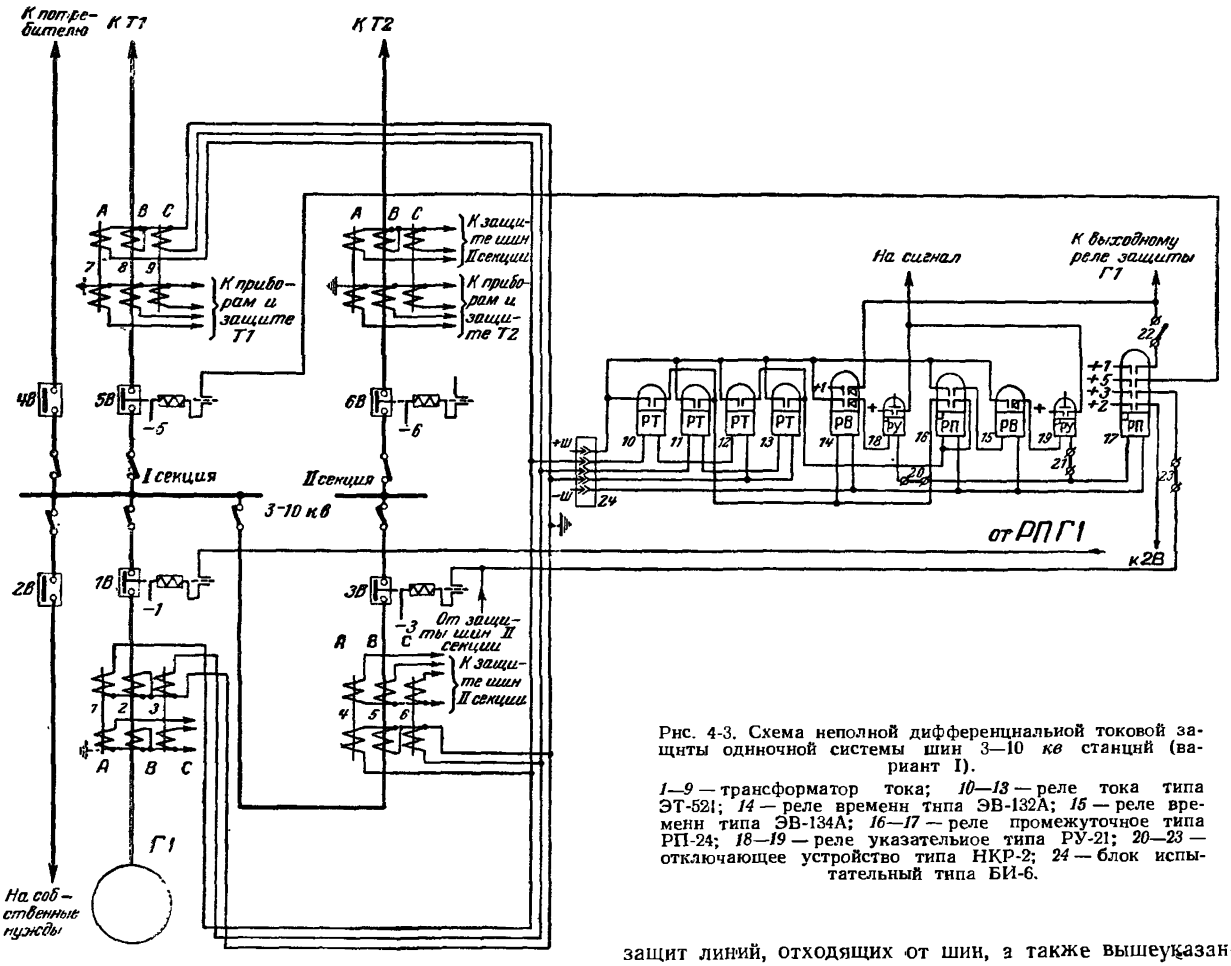


Рис. 4-3. Схема неполной дифференциальной токовой защиты одиночной системы шин 3—10 *кв* станций (вариант I).

1—9 — трансформатор тока; *10—13* — реле тока типа ЭТ-521; *14* — реле времени типа ЭВ-132А; *15* — реле времени типа ЭВ-134А; *16—17* — реле промежуточное типа РП-24; *18—19* — реле указательное типа РУ-21; *20—23* — отключающее устройство типа НКР-2; *24* — блок испытательный типа БИ-6.

Для запуска устройства АПВ выключателя трансформатора при коротком замыкании на шинах 3—10 *кв* в выходном реле защиты предусмотрен один замыкающий контакт.

В схеме предусмотрено ускорение действия защиты шин после автоматического повторного включения выключателя трансформатора на неустранившееся короткое замыкание, а также после включения секционного выключателя на короткое замыкание от АВР. Включение секционного выключателя на короткое замыкание от АВР возможно в режиме раздельной работы трансформаторов и выведенном из действия устройства АПВ на одном из них. В этом случае необходимо ускорить действие защиты шин после включения секционного выключателя на поврежденную секцию.

Для реактированных линий (реакторы с небольшой реактивностью) коэффициент чувствительности токовой отсечки при повреждениях на шинах может оказаться недостаточным. В этих случаях защита по рис. 4-2 дополняется комплектом реле минимального напряжения, сблокированных с токовыми реле основной защиты шин, как указано на рис. 4-2,*а*.

Реле минимального напряжения включены на междуфазные напряжения.

Отсечка по напряжению с токовой блокировкой предназначена для отключения повреждения на шинах, а чувствительная токовая защита — для резервирования защит линий, отходящих от шин, а также вышеуказанной основной защиты шин.

При неисправности цепей напряжения подается сигнал с выдержкой времени.

При установке выключателей на линиях, отходящих от шин, рассчитанных на отключение коротких замыканий до реакторов этих линий, токовая отсечка защиты шин дополняется реле времени *14* как указано на рис. 4-2,*б* для возможности отстройки от быстродействующих защит линий.

Использование для защиты шин трансформатора напряжения (*ТН*), приключенного к силовому трансформатору, вместо трансформатора напряжения на шинах ухудшает условия работы защиты, так как при отключении выключателя трансформатора необходимо вывести из работы основную защиту шин во избежание неселективного действия при коротких замыканиях на отходящих линиях.

Ввиду установки трансформаторов тока (*ТТ*) только с одной стороны в цепи секционного выключателя повреждения в нем или на участке между выключателем и его трансформаторами тока оказываются вне зоны действия защиты II секции, и эти повреждения отключаются защитой трансформатора II секции.

3. *Схема неполной дифференциальной токовой защиты одиночной системы шин 3—10 кв станций (вариант I) (рис. 4-3).*

Схема применяется для защиты одиночной секционированной системы шин станций при установке на ли-

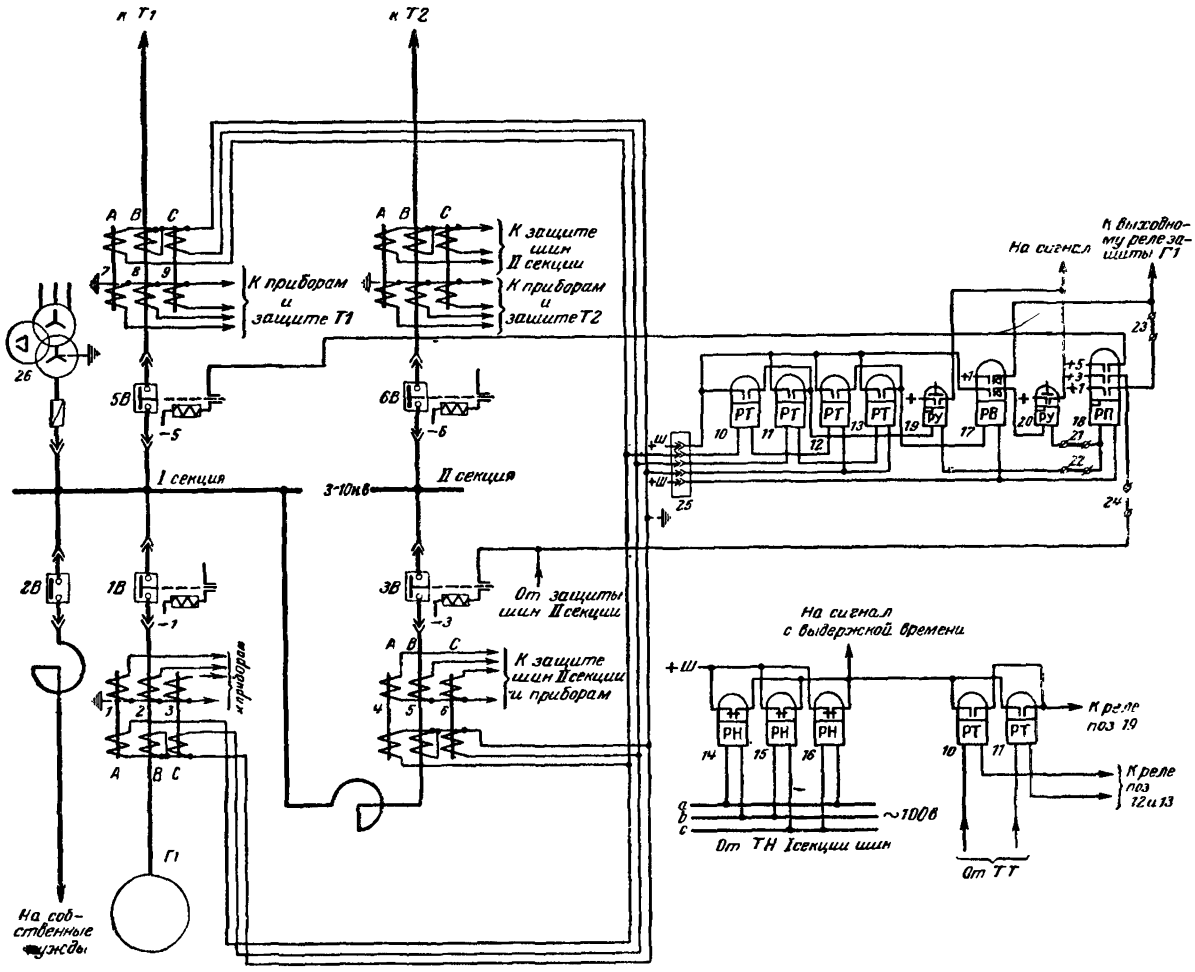


Рис. 4-4. Схема неполной дифференциальной токовой защиты одиночной системы шин 3—10 *кв* станций (вариант II).

1—*9*—трансформатор тока; *10*—*13*—реле тока типа ЭТ-521; *14*—*16*—реле напряжения типа ЭН-529; *17*—реле времени типа ЭВ-132А; *18*—реле промежуточное типа РП-24; *19*—*20*—реле указательное типа РУ-21; *21*—*24*—отключающее устройство типа НКР-2; *25*—блок испытательный типа БИ-6; *26*—трансформатор напряжения.

ниях выключателей, рассчитанных на отключение коротких замыканий до реакторов этих линий.

Схема содержит токовую отсечку с выдержкой времени и чувствительную максимальную токовую защиту с выдержкой времени.

Токовая отсечка имеет выдержку времени в связи с необходимостью ее отстройки от времени срабатывания быстродействующих защит, установленных на отходящих линиях.

Токовая отсечка предназначена для отключения повреждения на шинах и резервирования защит линий, а чувствительная токовая защита — для резервирования защиты шин и линий, учитывая, что зона действия токовой отсечки защиты шин при повреждении на линии невелика из-за большого тока срабатывания.

Токовая отсечка действует на отключение всех питающих элементов, за исключением генератора, с целью сохранения его в работе с нагрузкой секции при неправильных действиях защиты шин. Указанные неправильные действия могут быть, например, при коротких замыканиях на питаемых элементах и отказе быстродействующей защиты этих элементов. Кроме того, возможно самоустранение короткого замыкания из-за уменьшения тока повреждения при отключении связей с системой.

Чувствительная токовая защита действует на отключение всех питающих элементов. Схема дана с фиксацией начального тока короткого замыкания, что целесообразно для уменьшения влияния дуги в месте повреждения, для исключения влияния затухания токов генераторов, а также возможного уменьшения суммарного тока короткого замыкания в процессе качаний. Указанная фиксация осуществляется с помощью реле тока чувствительной защиты шин.

В схеме предусмотрено отключение линий собственного расхода от защиты шин для ускорения действия устройства АВР собственных нужд при повреждении шин.

4. *Схема неполной дифференциальной токовой защиты одиночной системы шин 3—10 кв станций (вариант II) (рис. 4-4).*

Схема применяется для защиты одиночной секционированной системы шин станций при установке на ли-

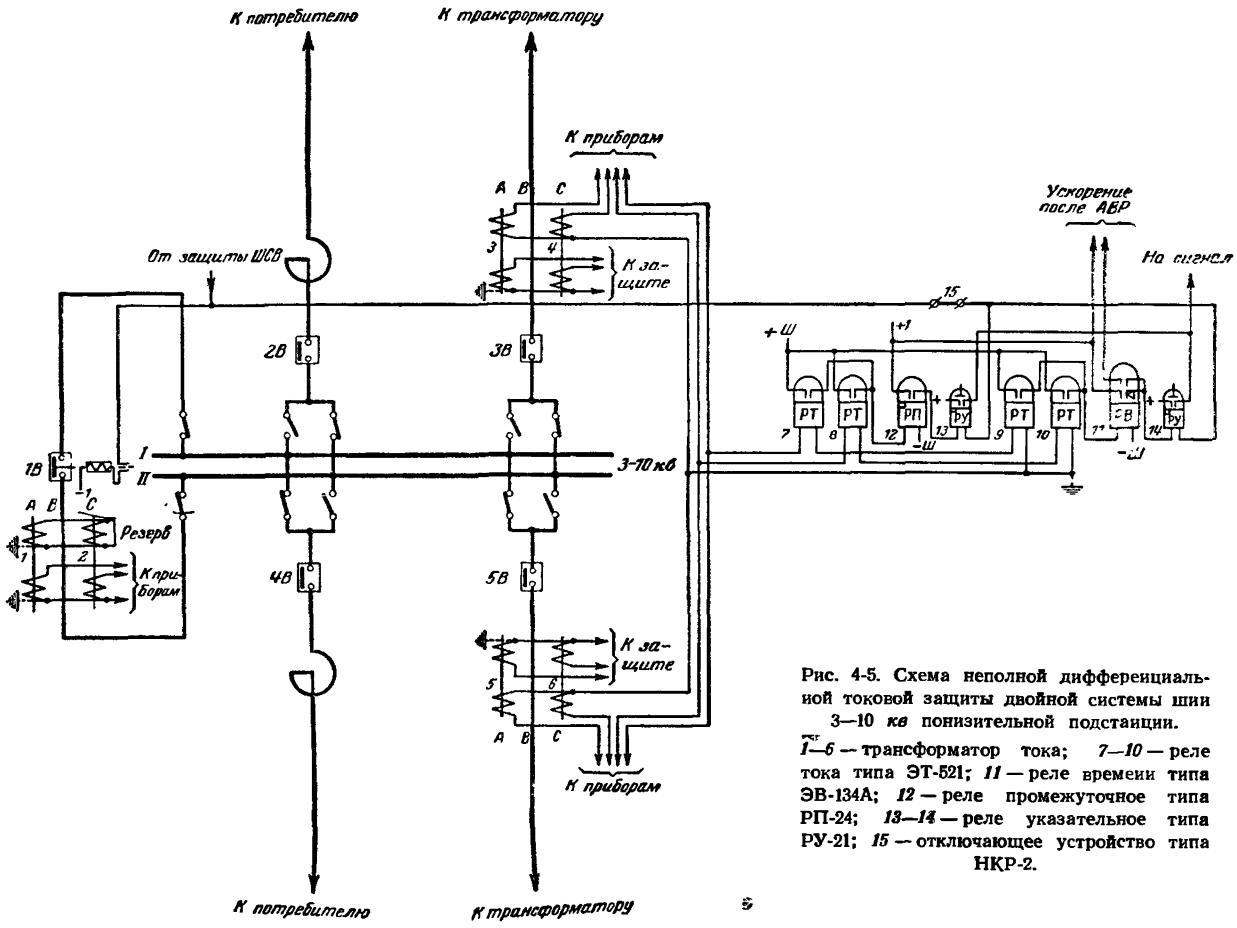


Рис. 4-5. Схема неполной дифференциальной токовой защиты двойной системы шин 3—10 *кв* понизительной подстанции.

1—6 — трансформатор тока; *7—10* — реле тока типа ЭТ-521; *11* — реле времени типа ЭВ-134А; *12* — реле промежуточное типа РП-24; *13—14* — реле указательное типа РУ-21; *15* — отключающее устройство типа НКР-2.

ниях выключателей, не рассчитанных на отключение коротких замыканий до реакторов этих линий.

Схема содержит токовую отсечку без выдержки времени и чувствительную максимальную токовую защиту с выдержкой времени.

Токовая отсечка предназначена для отключения коротких замыканий на шинах, а чувствительная защита — для резервирования защит линий, отходящих от шин, а также вышеуказанной токовой отсечки. Токовая отсечка действует на отключение всех питающих элементов, в том числе и генераторов. Это необходимо в случаях, когда применяется АПВ шин.

В схеме предусмотрено отключающее устройство *23*, с помощью которого может быть снята цепь на отключение генератора от токовой отсечки.

Дополнение (см. рис. 4-4) аналогично п. 2.

5. Схема неполной дифференциальной токовой защиты двойной системы шин 3—10 кв понизительной подстанции (рис. 4-5).

Схема применяется для защиты двойной системы шин подстанций при одновременной работе на обоих системах шин без фиксации элементов за шинами, при установке на линиях выключателей, не рассчитанных на отключенне коротких замыканий до реакторов этих линий, в тех случаях, когда защита, устанавливаемая на шиносоединительном выключателе, недостаточно чувствительна при повреждениях на шинах.

Защита состоит из токовой отсечки без выдержки времени и чувствительной токовой защиты с выдержкой времени. Защита действует только на отключение шиносоединительного выключателя, а поврежденная система шин отключается защитой от внешних коротких замыканий трансформатора, присоединенного к поврежденной системе шин.

В схеме предусмотрено ускорение действия защиты после включения шиносоединительного выключателя на короткое замыкание от АВР.

При использовании шиносоединительного выключателя взамен выключателя линий защита шин может быть использована вместо защиты, устанавливаемой на шиносоединительном выключателе.

6. *Схема неполной дифференциальной токовой защиты двойной системы шин 3—10 кв станций (вариант I) (рис. 4-6).*

Схема применяется для защиты двойной системы шин станций с постоянной работой на одной системе шин с выключателями, не рассчитанными на отключение коротких замыканий до реакторов этих линий.

Защита состоит из двух комплектов: токовой отсечки без выдержки времени и максимальной токовой защиты с выдержкой времени.

Назначение защиты и ее отдельных элементов аналогично схеме п. 4. В отличие от нее для предотвращения неселективного действия защиты шин при повреждении в зоне быстродействующей защиты трансформаторов собственных нужд трансформаторы тока последних включаются в схему дифференциальной защиты шин.

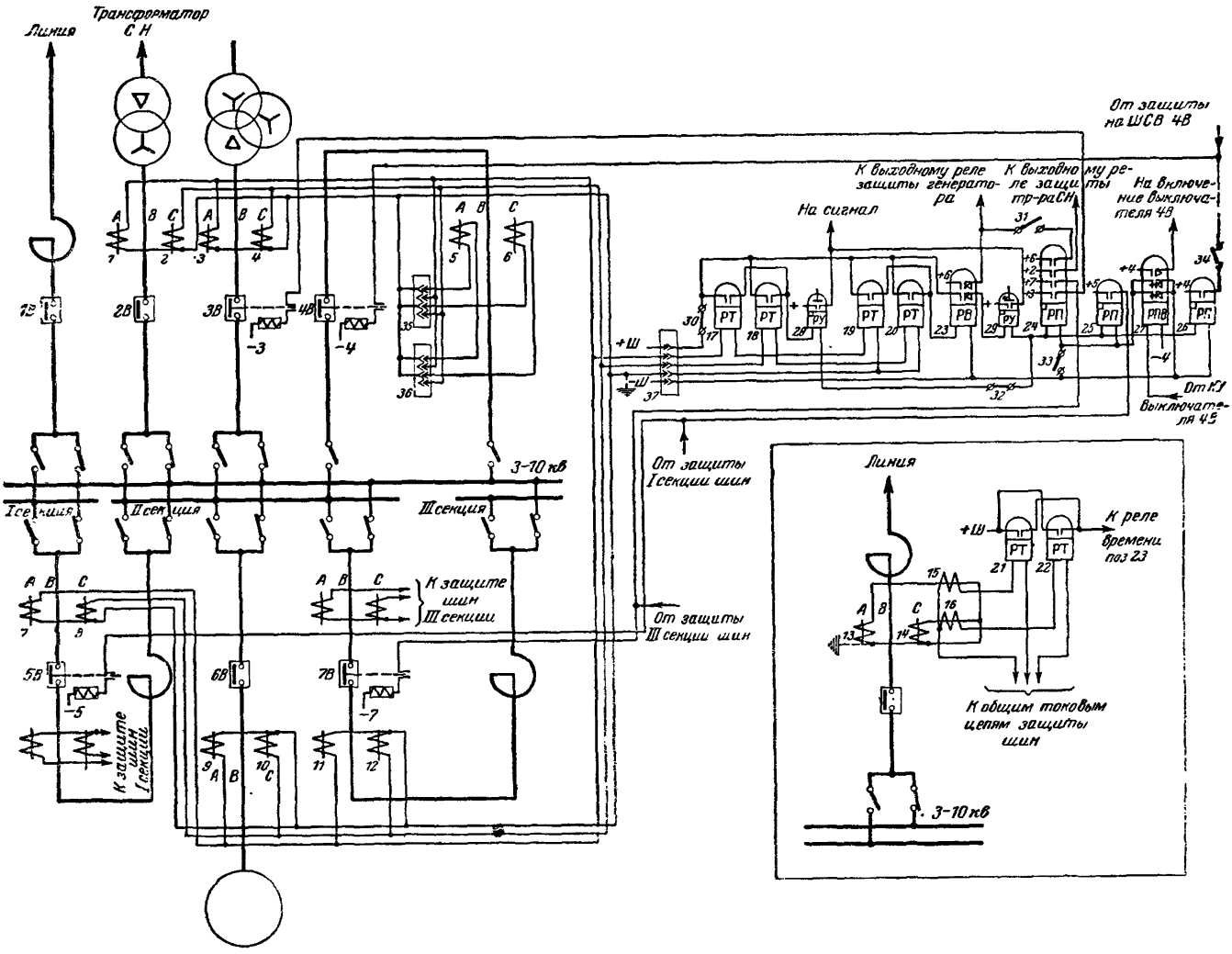


Рис. 4-6. Схема неполной дифференциальной токовой защиты двойной системы шин 3—10 кв станций (вариант I).

1—14—трансформатор тока; *15—16*—ПТТ (промежуточный трансформатор тока); *17—22*—реле тока типа ЭТ-521; *23*—реле времени типа ЭВ-132А; *24—26*—реле промежуточное типа РП-24; *27*—реле промежуточное типа РП-252; *28—29*—реле указательное типа РУ-21; *30—34*—отключающее устройство типа НКР-2; *35—36*—блок испытательный типа БИ-4; *37*—блок испытательный типа БИ-6.

На шиносоединительном выключателе предусмотрены трансформаторы тока, нормально зашунтированные. При замене выключателя питаемого элемента шиносоединительным выключателем его трансформаторы тока дешунтируются и с помощью предусмотренных для этого испытательных блоков включаются в схему дифференциальной защиты шин, при этом из зоны действия защиты шин исключается система шин с выделенным элементом.

В этом режиме работы шиносоединительного выключателя короткие замыкания на выделенном элементе вплоть до трансформаторов тока шиносоединительного выключателя отключаются защитой последнего.

При опробовании одной из систем шин подачей напряжения через шиносоединительный выключатель импульс на отключение поврежденной системы шин обеспечивается от защиты шин, при этом с помощью реле *27*, имеющего выдержку времени на возврат, замедляется отключение питающих элементов, чем достигается избирательность отключения повреждения.

Если резервный комплект защиты шин, отстроенный от тока суммарной нагрузки секций с учетом токов самозапуска, недостаточно чувствителен к коротким замыканиям за линейным реактором, то в схему защиты шин (рис. 4-6) дополнительно включаются несколько наиболее мощных питаемых линий (рис. 4-6,*а*), чем достигается увеличение чувствительности защиты. При неодинаковых коэффициентах трансформации трансформаторов тока на питающих элементах и на питаемых линиях у последних устанавливаются промежуточные трансформаторы тока, используемые для выравнивания этих коэффициентов.

Для резервирования защит тех питаемых линий, которые включены в дифференциальную схему, предусматриваются в резервном комплекте защиты шин два токовых реле *21* и *22*, включенных во вторичные цепи промежуточных трансформаторов тока *15* и *16*, отстроенных от суммарного тока нагрузки с учетом токов самозапуска только этих линий.

7. *Схема неполной дифференциальной дистанцион-*

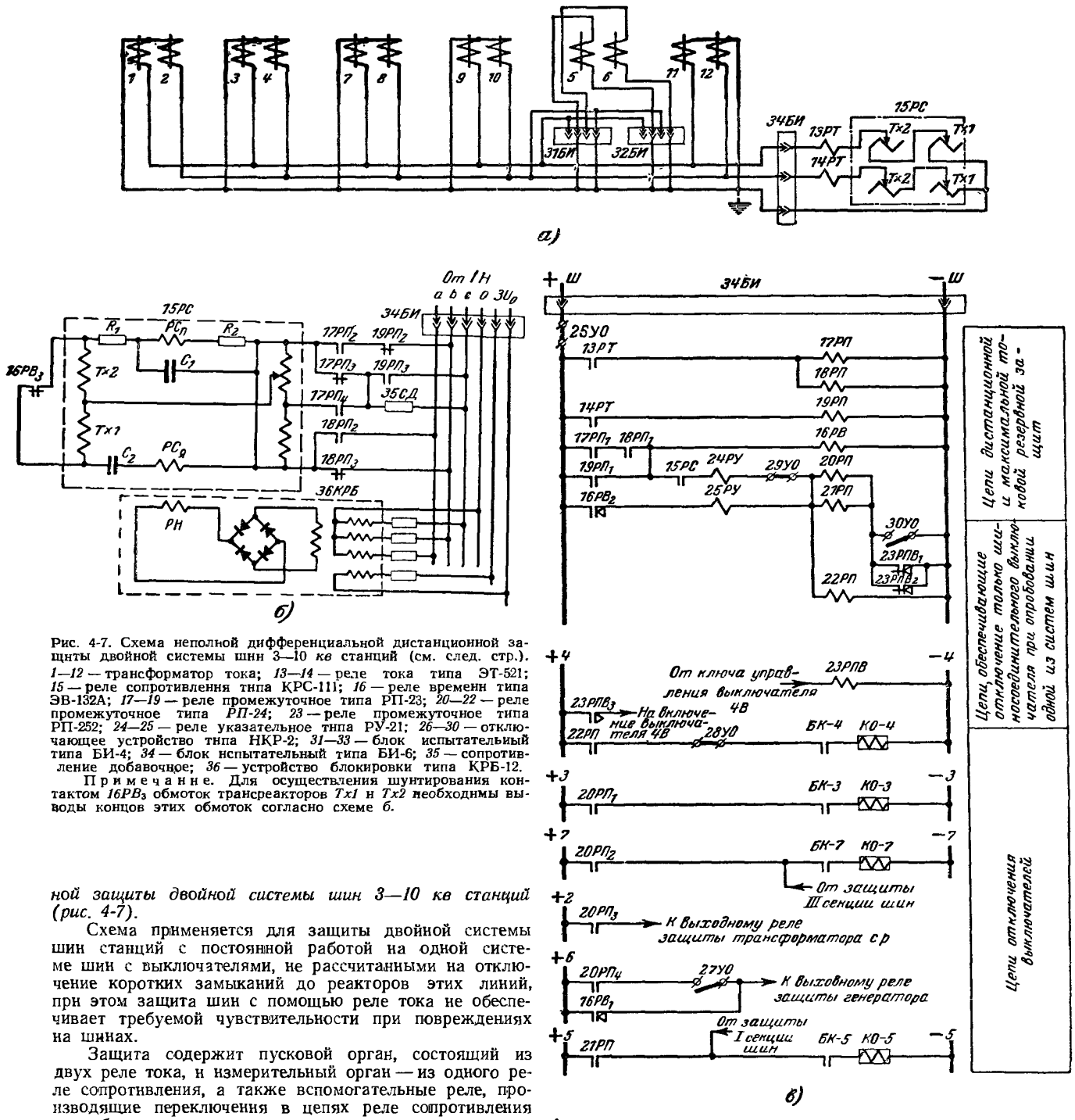


Рис. 4-7. Схема неполной дифференциальной дистанционной защиты двойной системы шин 3—10 *кв* станций (см. след. стр.).
1—12 — трансформатор тока; *13—14* — реле тока типа ЭТ-521; *15* — реле сопротивления типа КРС-111; *16* — реле времени типа ЭВ-132А; *17—19* — реле промежуточное типа РП-23; *20—22* — реле промежуточное типа *РП-24*; *23* — реле промежуточное типа РП-252; *24—25* — реле указательное типа РУ-21; *26—30* — отключающее устройство типа НКР-2; *31—33* — блок испытательный типа БИ-4; *34* — блок испытательный типа БИ-6; *35* — сопротивление добавочное; *36* — устройство блокировки типа КРБ-12.
Примечание. Для осуществления шунтирования контактом $16PB_3$ обмоток трансреакторов *Тх1* и *Тх2* необходимы выводы концов этих обмоток согласно схеме *б*.

ной защиты двойной системы шин 3—10 кв станций (рис. 4-7).

Схема применяется для защиты двойной системы шин станций с постоянной работой на одной системе шин с выключателями, не рассчитанными на отключение коротких замыканий до реакторов этих линий, при этом защита шин с помощью реле тока не обеспечивает требуемой чувствительности при повреждениях на шинах.

Защита содержит пусковой орган, состоящий из двух реле тока, и измерительный орган — из одного реле сопротивления, а также вспомогательные реле, производящие переключения в цепях реле сопротивления для обеспечения замера одинаковых величин сопротивления на зажимах реле при различных видах повреждений.

Пусковой орган вместе с реле сопротивления осуществляет основную защиту для отключения повреждения на шинах без выдержки времени, а пусковой орган вместе с реле времени резервирует защиту питаемых линий и основную защиту шин.

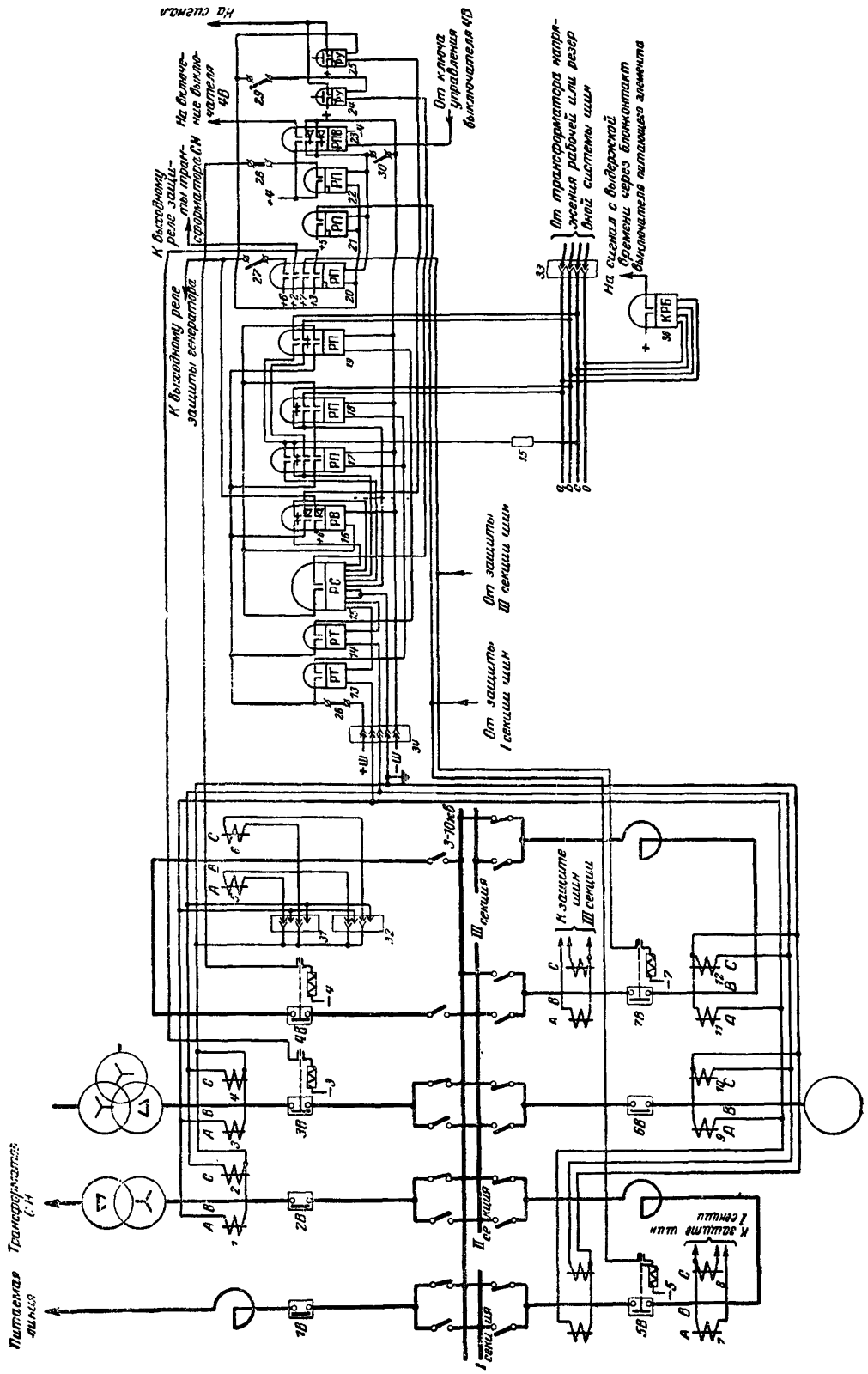

На сигнал
На включение выключателя 4В
От ключа управления выключателя 4В
К выходному реле защиты трансформатора СН
К выходному реле защиты генератора
От трансформатора напряжения рабочей цепи резервной системы шин
На сигнал с выдержкой времени через блок-контакт выключателя питающего элемента
От защиты I секции шин
От защиты III секции шин
К защите шин III секции
К защите шин I секции
Питающая линия
Трансформатор СН
I секция
II секция
III секция
1В
2В
3В
4В
5В
6В
7В
РТ
РП
РВ
РС
КРБ

Рис. 4-7

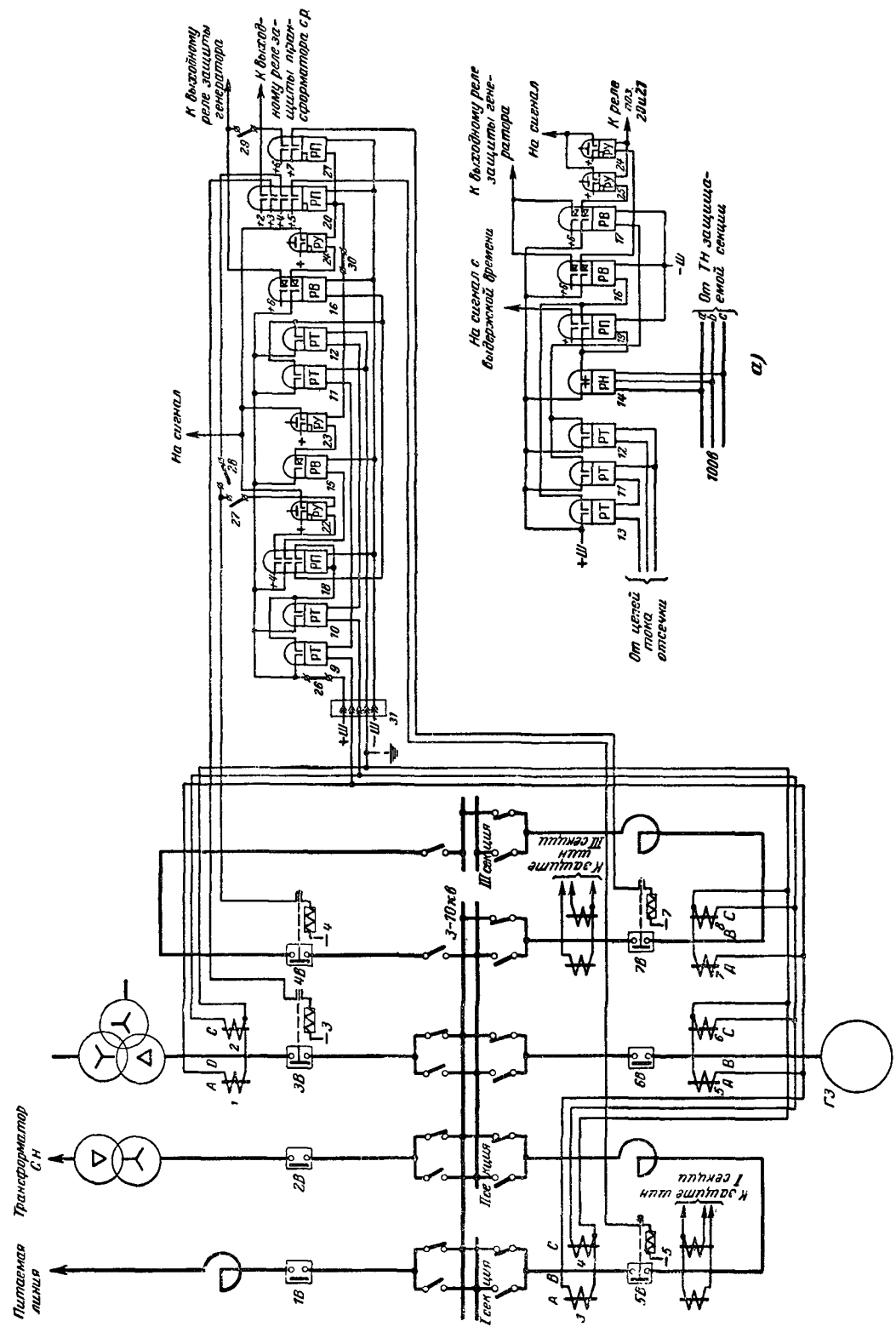


Рис. 4-8. Схема неполной дифференциальной токовой защиты двойной системы шин 3—10 кв станций (вариант II).

1—8—трансформатор тока; *9—13*—реле тока ЭТ-521; *14*—фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *15*—реле времени типа ЭВ-114А; *16*—реле времени типа ЭВ-142А; *18—19*—реле промежуточное типа РП-23; *20—21*—реле промежуточное типа РП-24; *22—25*—реле указательное типа РУ-21; *26—30*—отключающее устройство типа НКР-2; *31*—блок испытательный типа БИ-6.

Токи и напряжения на зажимах реле сопротивления при различных коротких замыканиях

Короткое замыкание между фазами	Срабатывают реле тока	Срабатывают вспомогательные реле	Ток в реле	Подача напряжения к реле
AB	*13РТ*	*17РП, 18РП*	I_A	$0{,}5\ U_{AB}$
BC	*14РТ*	*19РП*	I_C	$0{,}5\ U_{BC}$
CA	*13РТ, 14РТ*	*17РП, 18РП, 19РП*	$I_A - I_C$	U_{AC}
ABC	*13РТ, 14РТ*	*17РП, 18РП, 19РП*	$I_A - I_C$	U_{AC}

При сочетании токов и напряжений на зажимах реле в соответствии с приведенным выше обеспечивается одинаковый замер величин сопротивления реле при различных коротких замыканиях между фазами.

В целях исключения неправильного действия реле сопротивления при подаче к нему тока раньше, чем напряжения, в схеме предусмотрено дешунтирование токовых цепей реле сопротивления после срабатывания вспомогательных реле, подающих напряжение. Токовые цепи реле в нормальном режиме шунтируются размыкающим контактом реле времени.

Для предотвращения неправильного действия защиты шин при перегорании предохранителей в цепях трансформаторов напряжения, питающих реле сопротивления, должно быть предусмотрено устройство, контролирующее целость вышеуказанных предохранителей.

Как и в схеме рис. 4-6, предусмотрено устройство для избирательного отключения поврежденной системы шин при опробовании ее шиносоединительным выключателем, а также трансформаторы тока в цепи шиносоединительного выключателя для случая замены им выключателя питаемого элемента. Отключающие устройства в схеме выполняют те же функции, что и в схеме рис. 4-6.

8. Схема неполной дифференциальной токовой защиты двойной системы шин 3—10 кв станций (вариант II) (рис. 4-8).

Схема применяется для защиты двойной системы шин станций с постоянной работой на одной системе шин при установке на линиях выключателей, рассчитанных на отключение коротких замыканий до реакторов этих линий.

Схема содержит токовую отсечку с выдержкой времени и чувствительную максимальную токовую защиту с выдержкой времени.

Токовая отсечка предназначена для отключения повреждения на шинах и имеет выдержку времени для отстройки от времени срабатывания быстродействующих защит, установленных на отходящих линиях и трансформаторе собственного расхода. Чувствительная токовая защита предназначена для резервирования защиты шин и линий.

Действие защиты шин на отключение элементов, а также фиксация начального тока короткого замыкания выполнены аналогично схеме рис. 4-3.

В схеме предусмотрено действие отсечки на отключение шиносоединительного выключателя без выдержки времени при опробовании им одной из систем шин, после чего импульс на отключение должен быть снят для исключения неселективного действия отсечки на шиносоединительный выключатель при других режимах его работы, например в случае замены им выключателя линии.

При недостаточной чувствительности резервного комплекта защиты к коротким замыканиям за линейным реактором схема резервной защиты дополняется пуском от реле напряжения обратной последовательности (*14* на рис. 4-8,*а*).

При несимметричных коротких замыканиях чувствительный комплект реле тока *11* и *12* вместе с реле напряжения обратной последовательности действует с выдержкой времени реле *16* на отключение.

Ток срабатывания вышеуказанных реле тока отстраивается от максимально возможного суммарного тока нагрузки секции без учета токов самозапуска.

При симметричных повреждениях защита действует помимо реле напряжения обратной последовательности на отключение через реле времени *17*, которое осуществляет отстройку от токов самозапуска.

При симметричных повреждениях и больших токах короткого замыкания дополнительное токовое реле *13*, предусмотренное в схеме, действует на отключение с выдержкой времени резервной защиты от несимметричных повреждений. Вышеуказанное реле тока *13* отстраивается от суммарного тока нагрузки секции с учетом токов самозапуска.

В схеме предусмотрена сигнализация неисправностей в цепях напряжения.

При применении дополнения по рис. 4-8,*а* требуется проверка устойчивости высоковольтного оборудования при коротком замыкании с учетом выдержки времени реле *17* резервной защиты шин.

9. Схема неполной дифференциальной токовой защиты двойной системы шин 3—10 кв понизительной подстанции с фиксированным присоединением элементов (рис. 4-9).

Схема применяется для защиты шин мощных ответственных подстанций при постоянной работе на обеих системах шин с фиксированным присоединением элементов при установке на линиях выключателей, не рассчитанных на отключение коротких замыканий до реакторов этих линий.

Учитывается при этом также необходимость быстрого отключения повреждения на шинах или трудность отстройки вторых ступеней защит линий высшего напряжения, питающих подстанцию, от повреждения на шинах 3—10 *кв* подстанции.

Защита состоит из токовой отсечки без выдержки времени, предназначенной для отключения повреждения на шинах, и чувствительной токовой защиты с выдержкой времени для резервирования защиты шин и питаемых линий.

При соблюдении фиксаций питающих элементов за шинами защита отключает только поврежденную систему шин. При работе с нарушенной фиксацией присоединенных питающих элементов защита отключает поврежденную и здоровую системы шин.

При внешних коротких замыканиях селективность защиты сохраняется и при нарушении фиксации элементов за шинами.

Защита содержит: пусковой орган, состоящий из реле тока, включенных дифференциально к трансформаторам тока всех элементов (питающих и шиносоединительного), и два избирательных органа, состоящих из реле тока для выбора поврежденной системы шин, присоединенных дифференциально к трансформаторам тока соответствующей системы шин.

При работе шин с нарушенной фиксацией присоединения элементов возможно понижение чувствительности защиты по причине прохождения через избирательные органы только части тока короткого замыкания. Поэтому для вышеуказанного режима работы

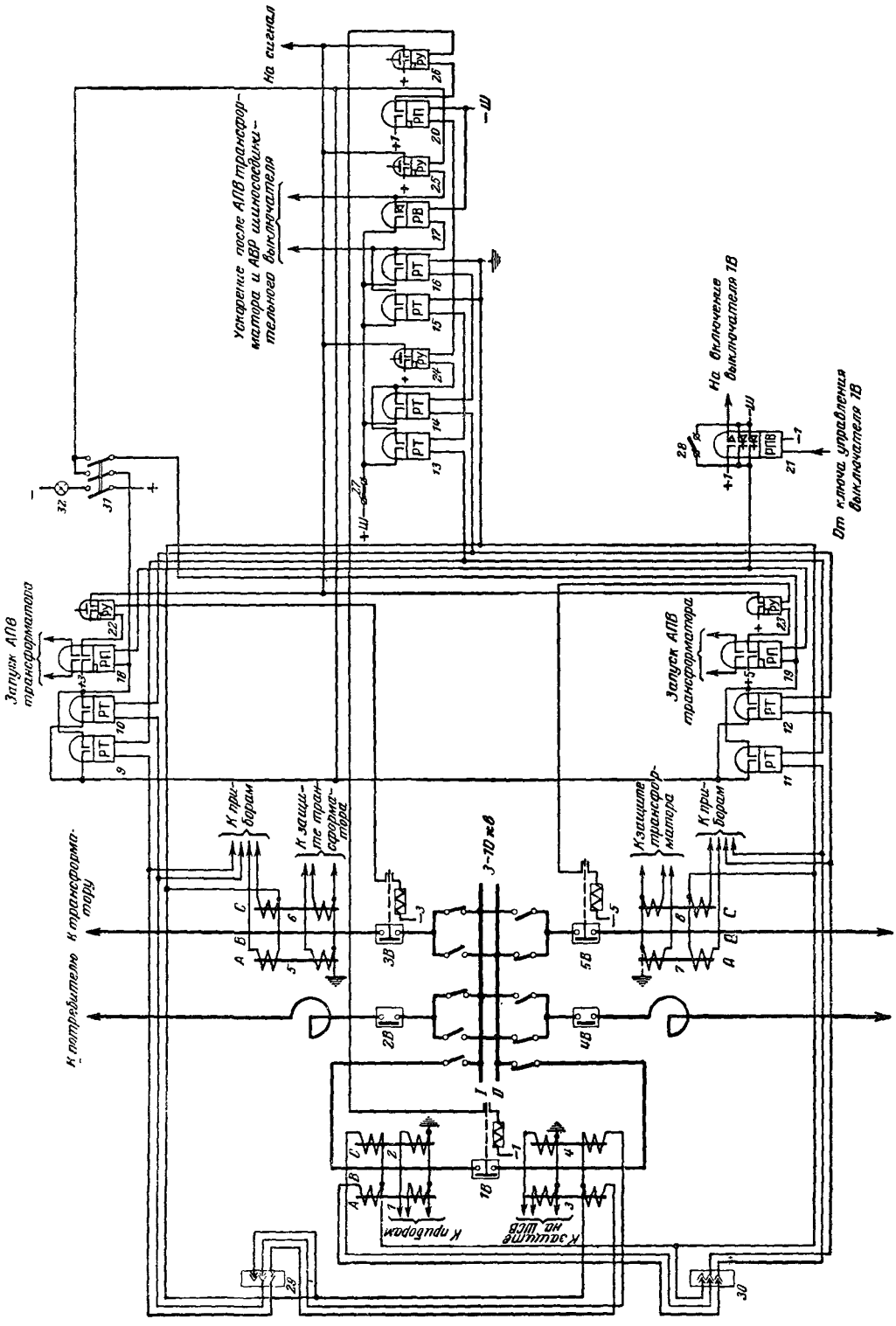


Рис. 4-9. Схема неполной дифференциальной токовой защиты двойной системы шин 3—10 кв понизительной подстанции с фиксированным присоединением элементов.

1—8—трансформатор тока; *9—16*—реле тока типа ЭТ-521; *17*—реле времени типа ЭВ-134А; *18—20*—реле промежуточное типа РП-24; *21*—реле промежуточное типа РП-252; *22—26*—реле указательное типа РУ-21; *27—28*—отключающее устройство типа НКР-2; *29—30*—блок испытательный типа БИ-4; *31*—рубильник трехполюсный; *32*—лампа сигнальная.

предусматривается в схеме трехполюсный рубильник, шунтирующий контакты избирательных органов.

Для быстрого и избирательного отключения поврежденной системы шин при опробовании ее через шиносоединительный выключатель в схеме предусмотрено промежуточное реле типа РП-252 (*21*), имеющее выдержку времени на возврат и замедляющее отключение выключателей питающих элементов.

Отключающее устройство *28* предусмотрено для шунтирования контакта реле типа РП-252 при выводе в ревизию шиносоединительного выключателя, которое подает *минус* оперативного тока на защиту шин независимо от положения шиносоединительного выключателя.

В случае установки на шиносоединительном выключателе трансформаторов тока только с одной стороны повреждения в нем или на участке между выключателем и его трансформаторами тока оказываются вне зоны действия одного из комплектов избирательных органов защиты, и эти повреждения отключаются защитами трансформаторов.

10. Схема неполной дифференциальной токовой защиты двойной системы шин 3—10 кв станций с фиксированным присоединением элементов (рис. 4-10).

Схема применяется для защиты шин станций при постоянной работе на рабочей и резервной системах шин с фиксированным присоединением элементов при установке на линиях выключателей, не рассчитанных на отключение коротких замыканий до реакторов этих линий.

Одновременная работа на рабочей и резервной системах шин практикуется в ряде случаев для повышения надежности питания собственных нужд, когда генератор и рабочий трансформатор собственных нужд присоединены к рабочей системе шин, а трансформатор связи и резервный трансформатор собственных нужд — к резервной системе шин.

Защита содержит: а) общий токовый пусковой орган, состоящий из двух комплектов реле — токовой отсечки без выдержки времени для отключения повреждения на шинах и чувствительной токовой защиты с выдержкой времени для резервирования защит питаемых линий и токовой отсечки;

б) два избирательных органа, состоящих из реле тока, для выбора рабочей или резервной поврежденной системы шин.

Реле пускового органа включены дифференциально к трансформаторам тока всех элементов, охваченных защитой шин, а реле избирательных органов — дифференциально к трансформаторам тока соответственно рабочей и резервной систем шин.

Поведение защиты шин при коротких замыканиях на шинах или вне зоны ее действия при соблюдении или нарушении фиксации элементов аналогично схеме рис. 4-9.

В схеме предусмотрено устройство, состоящее из двух реле тока и реле времени *23*, *24* и *26* для отключения коротких замыканий на участке между шиносоединительным выключателем и его трансформаторами тока ввиду установки их с одной стороны. Это устройство при вышеуказанном повреждении обеспечивает подачу импульса на отключение обеих систем шин, чем исключается отключение всей станции от резервных защит других элементов.

При опробовании одной из систем шин подачей напряжения через шиносоединительный выключатель избирательность отключения поврежденной системы шин обеспечивается реле типа РП-252 и выполнена, как и на схеме рис. 4-9.

Назначение отключающего устройства *40* и трехполюсного рубильника *44* аналогично изложенному при описании схемы на рис. 4-9.

д) Принципиальные схемы защиты шин 35 кв и выше

1) Схема дифференциальной токовой защиты двойной системы шин подстанции напряжением 35 кв и выше (рис. 4-11).

Схема применяется для защиты двойной системы шин подстанций при постоянной работе на одной системе шин, с одним выключателем на присоединенный

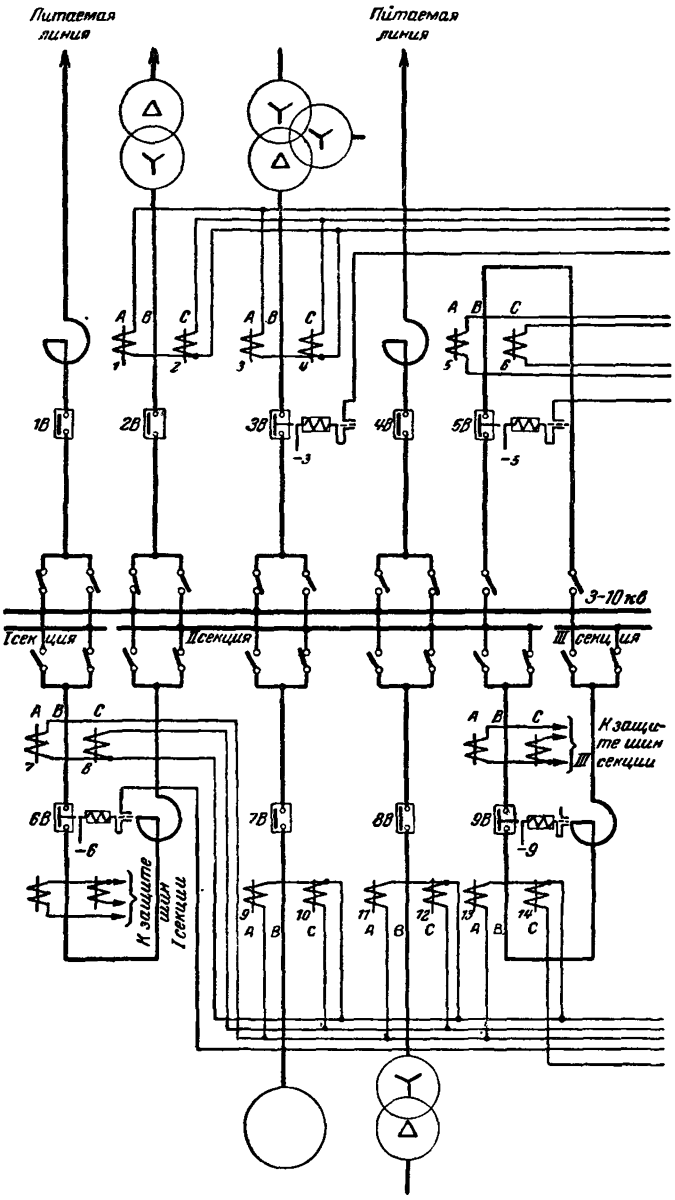


Рис. 4-10. Схема неполной дифференциальной
1—14—трансформатор тока; *15—24*—реле тока типа ЭТ-521; *25*—РП-252; *31—35*—реле указательное типа РУ-21; *36—40*—отключа

элемент, когда требуется отключение повреждения на шинах без выдержки времени.

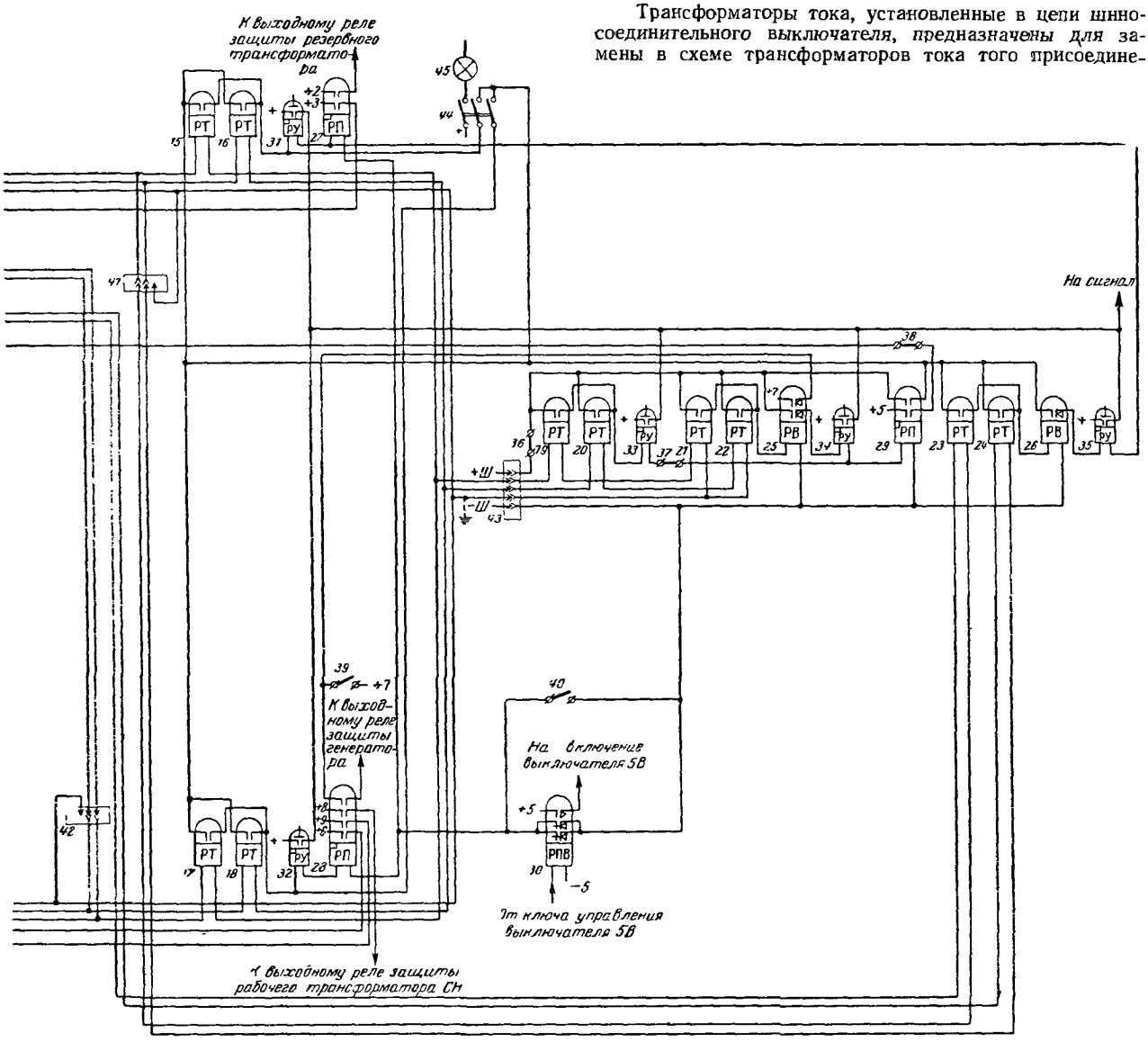
Защита выполнена с использованием реле типа РНТ-562, что повышает чувствительность защиты. Насыщающиеся трансформаторы реле РНТ снижают токи небаланса, возникающие во время переходного процесса при внешних коротких замыканиях.

Схема защиты выполнена, исходя из установки трансформаторов тока с одинаковыми коэффициентами трансформации на всех элементах, присоединенных к шинам.

Для предотвращения неселективного действия защиты шин при внешних коротких замыканиях в случае неисправности вторичных цепей трансформаторов тока в схеме предусмотрено устройство контроля с помощью реле тока в нулевом проводе, которое с выдержкой времени блокирует защиту и действует на сигнал. Кроме того, для периодического замера тока небаланса в нулевой провод включен миллиамперметр, нормально зашунтированный кнопкой.

Для обеспечения избирательного отключения поврежденной системы шин при опробовании ее через шиносоединительный выключатель в схеме предусмотрено устройство с помощью реле типа РП-252, замедляющее отключение всех элементов, кроме шиносоединительного выключателя. Контакты этого промежуточного реле шунтируются отключающим устройством *38* на время вывода в ревизию шиносоединительного выключателя.

Трансформаторы тока, установленные в цепи шиносоединительного выключателя, предназначены для замены в схеме трансформаторов тока того присоедине-



токовой защиты двойной системы шин 3—10 *кв* станций с фиксированным присоединением элементов.

реле времени типа ЭВ-132А; *26*—реле времени типа ЭВ-114А; *27—29*—реле промежуточное типа РП-24; *30*—реле промежуточное типа ющее устройство типа НКР-2; *41—42*—блок испытательный типа БИ-4; *43*—блок испытательный типа БИ-6; *44*—рубильник трехполюсный; *45*—лампа сигнальная.

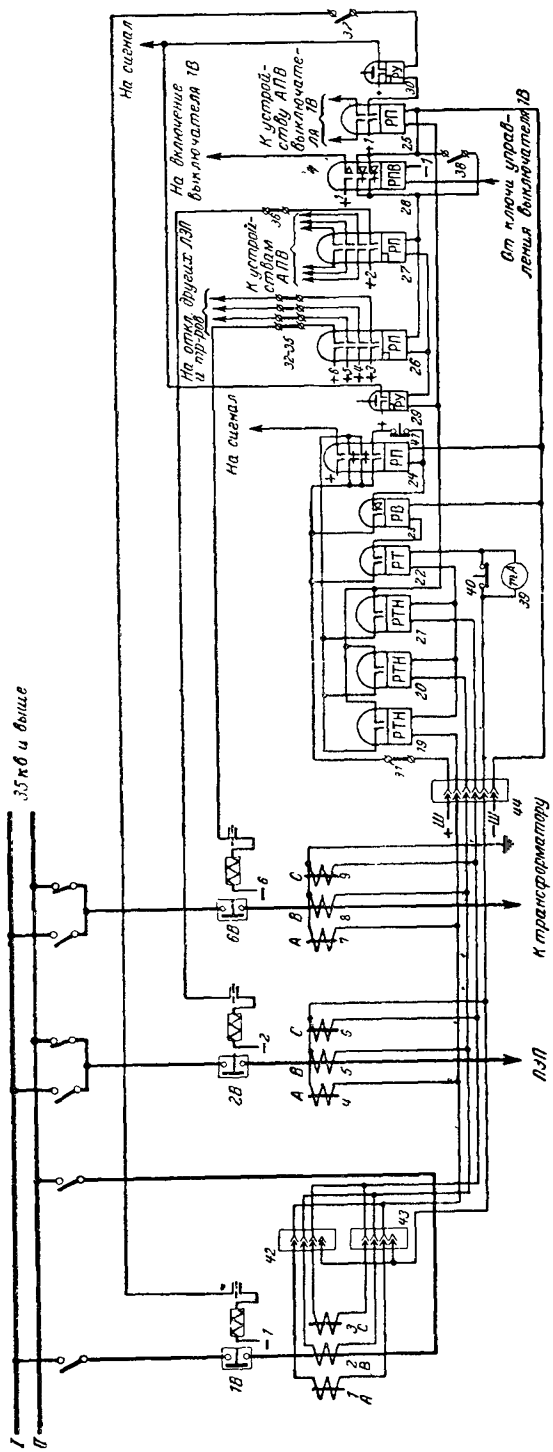


Рис. 4-11. Схема дифференциальной токовой защиты двойной системы шин подстанции напряжением 35 кв и выше.

1—9 — трансформатор тока; *19—21* — реле дифференциальное типа РНТ-562; *22* — реле тока типа ЭТ-521; *23* — реле времени типа ЭВ-133А; *24—25* — реле промежуточное типа РП-23; *26—27* — реле промежуточное типа РП-24; *28* — реле промежуточное типа РП-252; *29—30* — реле указательное типа РУ-21; *31—38* — отключающее устройство типа НКР-2; *39* — миллиамперметр переменного тока; *40—41* — кнопка; *42—43* — блок испытательный типа БИ-4; *44* — блок испытательный типа БИ-6.

Примечание. Для шин 35 *кв* (с малыми токами замыкания на землю) схема защиты шин выполняется двухфазной в двухрелейном исполнении, а для шин 110 *кв* и выше (большими токами замыкания на землю) — трехфазной в трехрелейном исполнении.

ния, выключатель которого замеиен шиносоединительным. Схема выполнена с учетом возможности восстановления напряжения на шинах с помощью АПВ одной из питающих линий. Поэтому в выходных цепях защиты шин предусмотрены специальные контакты для исключения АПВ других элементов, не используемых для АПВ шин.

2. Схема дифференциальной токовой защиты шин 35 кв и выше подстанций с фиксированным присоединением элементов при наличии обходного выключателя (рис. 4-12).

Схема применяется для защиты шин 35 *кв* и выше подстанций, постоянно работающих на обеих системах шин, при наличии обходного выключателя.

Защита содержит пусковой орган, общий для обеих систем шин, и два избирательных органа для выбора поврежденной системы шин.

Пусковой орган, состоящий из реле типа РНТ-562, включен дифференциально к трансформаторам тока всех элементов, а избирательный орган, состоящий из двух комплектов реле типа РНТ-562, включен дифференциально к трансформаторам тока соответствующей системы шин.

При соблюдении фиксированного присоединения элементов защита отключает только поврежденную систему шин, а при нарушении фиксации и повреждении на одной системе шин защита отключает поврежденную и здоровую систему шин.

Селективность защиты не нарушается при внешних коротких замыканиях независимо от состояния фиксации элементов за шинами.

В схеме предусмотрен трехполюсный рубильник, шунтирующий контакты избирательных органов для повышения чувствительности защиты при работе шин с нарушенной фиксацией присоединения элементов.

Для опробования одной из систем шин подачей напряжения через шиносоединительный выключатель или для опробования обходной системы шин подачей напряжения через обходной выключатель в схеме предусмотрено промежуточное реле для каждого из этих выключателей *76*, *77*, имеющее выдержку времени на возврат и снимающего *минус* с защиты шин.

Избирательное и быстрое отключение опробуемых вышеуказанными выключателями поврежденных шин производится пусковыми органами защиты.

На время вывода в ревизию шиносоединительного или обходного выключателя используются соответственно отключающие устройства *96*, *97*, с помощью которых разрывается цепь к реле *75*.

Благодаря наличию отдельных отключающих устройств для шиносоединительного и обходного выключателей возможно опробование одним выключателем системы шин при ревизии другого выключателя.

Для возможности быстрого присоединения трансформаторов тока обходного выключателя к избирательным органам I или II системы шин при замене им выключателя одного из элементов в схеме предусмотрены испытательные блоки. Аналогично для этих целей предусмотрены испытательные блоки в токовых цепях шиносоединительного выключателя.

В схеме предусмотрено устройство контроля целости токовых цепей защиты с помощью реле тока и миллиамперметра, включенных в нулевой провод трансформаторов тока защиты.

Схема защиты предусматривает возможность подачи напряжения на шины с помощью АПВ одного из питающих элементов, для чего в выходных цепях защиты предусмотрены специальные контакты для исклю-

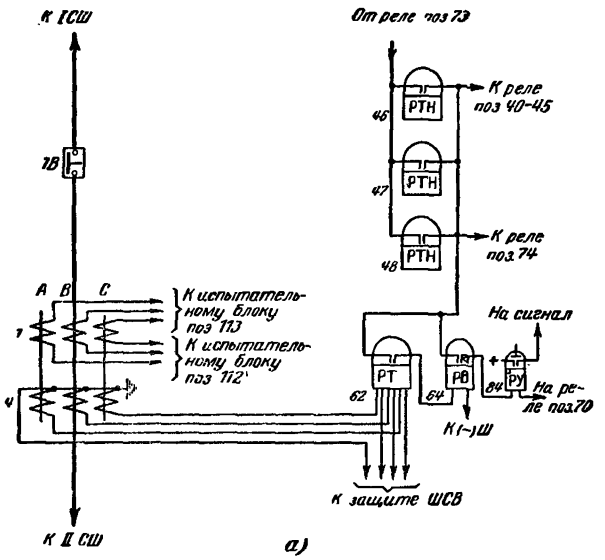
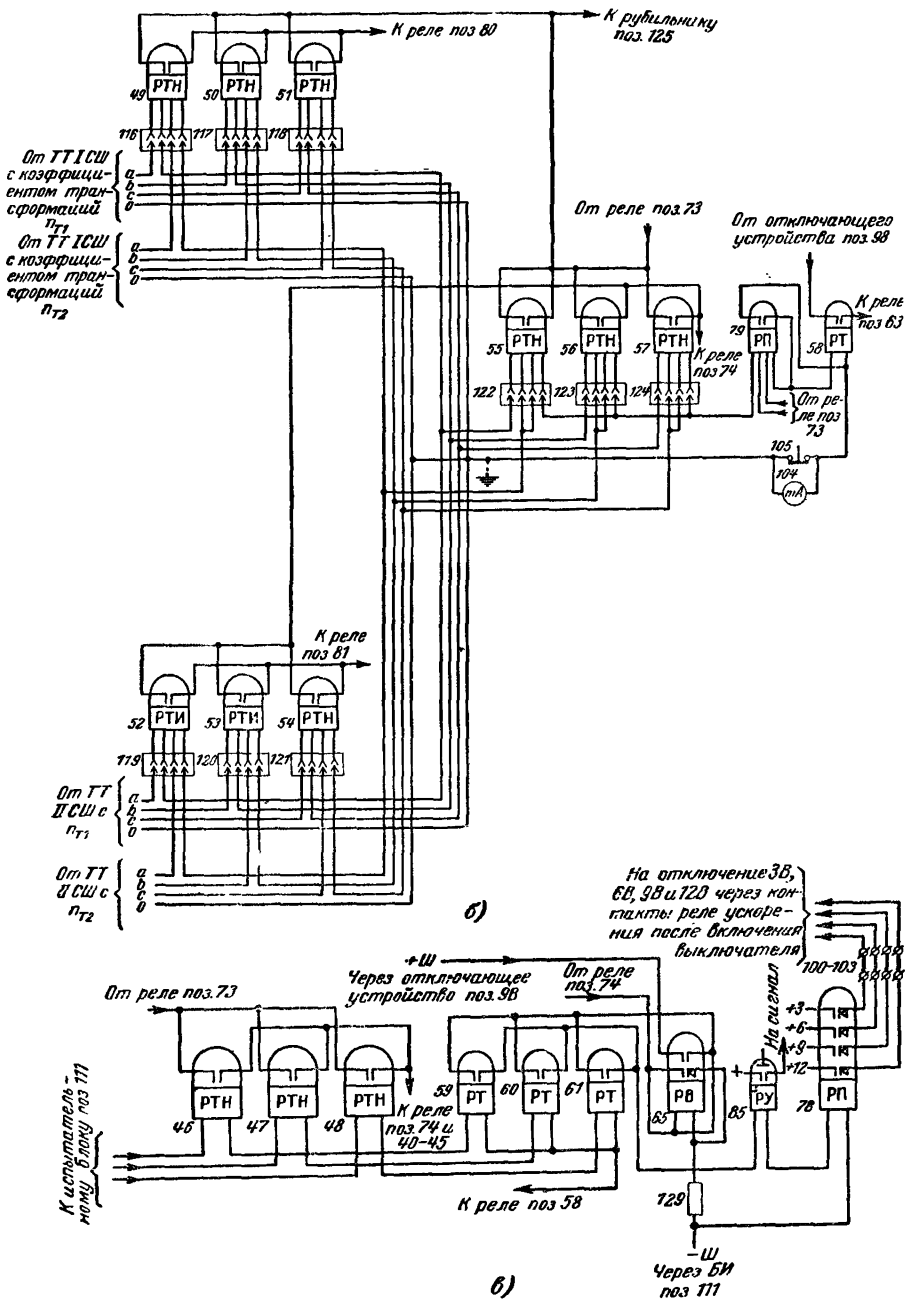


Рис. 4-12. Схема дифференциальной токовой защиты шин 35 *кв* и выше подстанций с фиксированным присоединением элементов при наличии обходного выключателя (полную схему см. на стр. 218—219).

1—39 — трансформатор тока; *40—48* — реле дифференциальное типа РНТ-562; *49—57* — реле дифференциальное типа РНТ-564; *58—61* — реле тока типа ЭТ-521; *62* — реле тока типа ЭТ-523/р; *63—64* — реле времени типа ЭВ-133А; *65* — реле времени типа ЭВ-114А; *66—72* — реле промежуточное типа РП-24; *73—75* — реле промежуточное типа РП-23; *76—77* — реле промежуточное типа РП-252; *78* — реле промежуточное типа РП-251; *79* — реле промежуточное типа РП-341; *80—85* — реле указательнсе типа РУ-21; *86—103* — устройство отключающее типа НКР-2; *104* — миллиамперметр переменного тока; *105—106* — кнопка; *107—111* — блок испытательный типа БИ-6; *112—124* — блок испытательный типа БИ-4; *125* — рубильник трехполюсный; *126* — рубильник четырехполюсный; *127—128* — лампа сигнальная; *129* — сопротивление добавочное.

Примечание. Для шин 35 *кв* (с малыми токами замыкания на землю) схема защиты выполняется двухфазной в двухрелейном исполнении, а для шин 110 *кв* и выше (с большими токами замыкания на землю) — трехфазной в трехрелейном исполнении.



чения АПВ других элементов, не используемых для АПВ шин.

Данная схема защиты шин применима и при наличии разведенных на разные системы шин параллельных линий, оборудованных поперечной дифференциальной защитой. Указанное обеспечивается тем, что при современных быстродействующих выключателях поперечная защита этих линий по времени своего действия не успеет сработать неселективно при повреждениях на шинах и наличии разброса по времени отключения выключателей линий и шиносоединительного. В случае установки медленно действующих выключателей может потребоваться дополнение поперечной дифференциальной защиты линий небольшой выдержкой времени, достаточной для перекрытия различия по времени действия выключателей линий и шиносоединительного.

В схеме предусмотрен рубильник *126*, установленный в распределительном устройстве, который используется для шунтирования избирательных органов при работе с нарушенной фиксацией элементов и необходимости уменьшения нагрузки на трансформаторы тока. Контроль за положением рубильника осуществляется сигнальной лампой *127*.

Схема дана для случая, когда трансформаторы тока в схеме защиты шин имеют одинаковые коэффициенты трансформации.

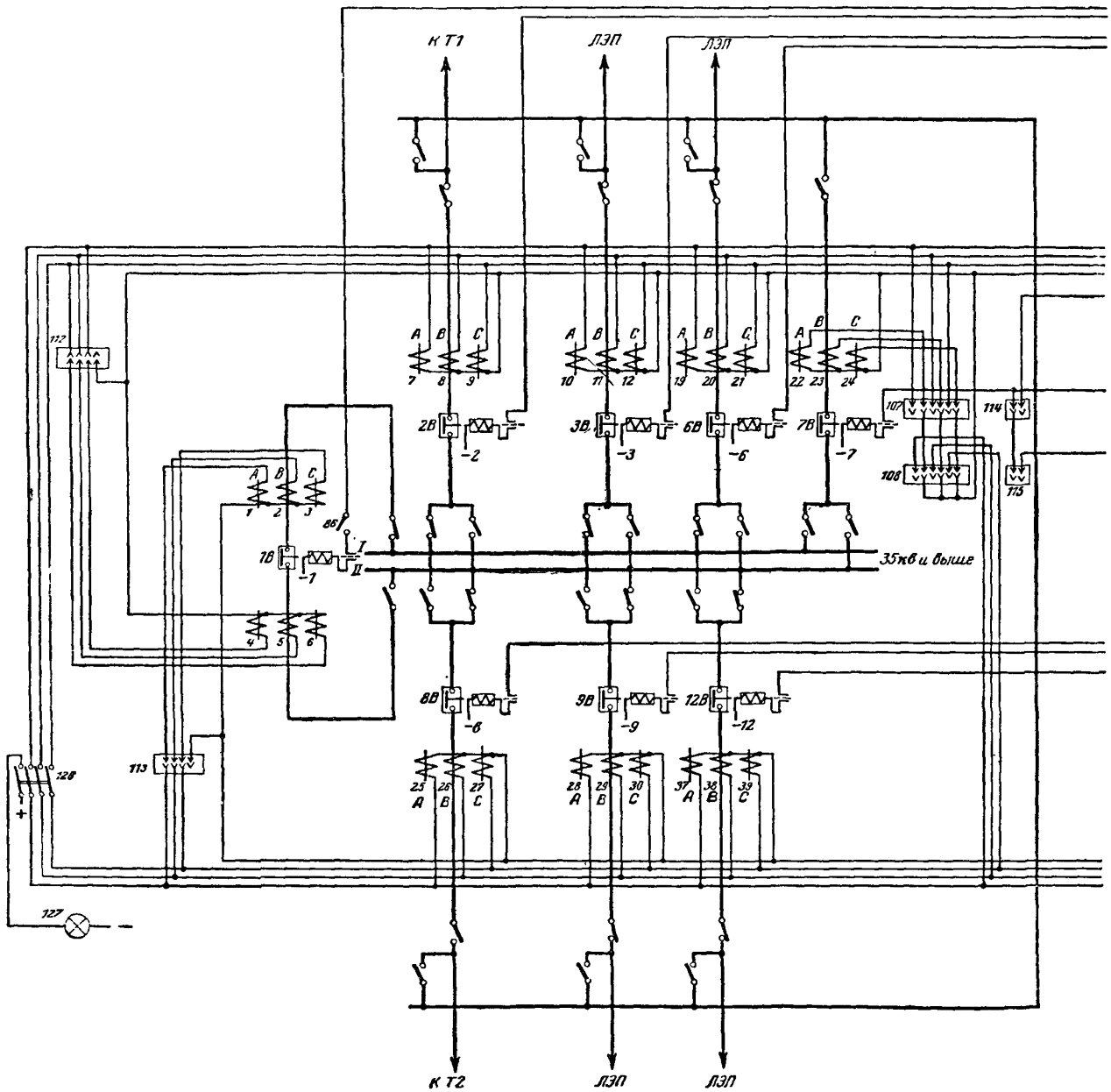
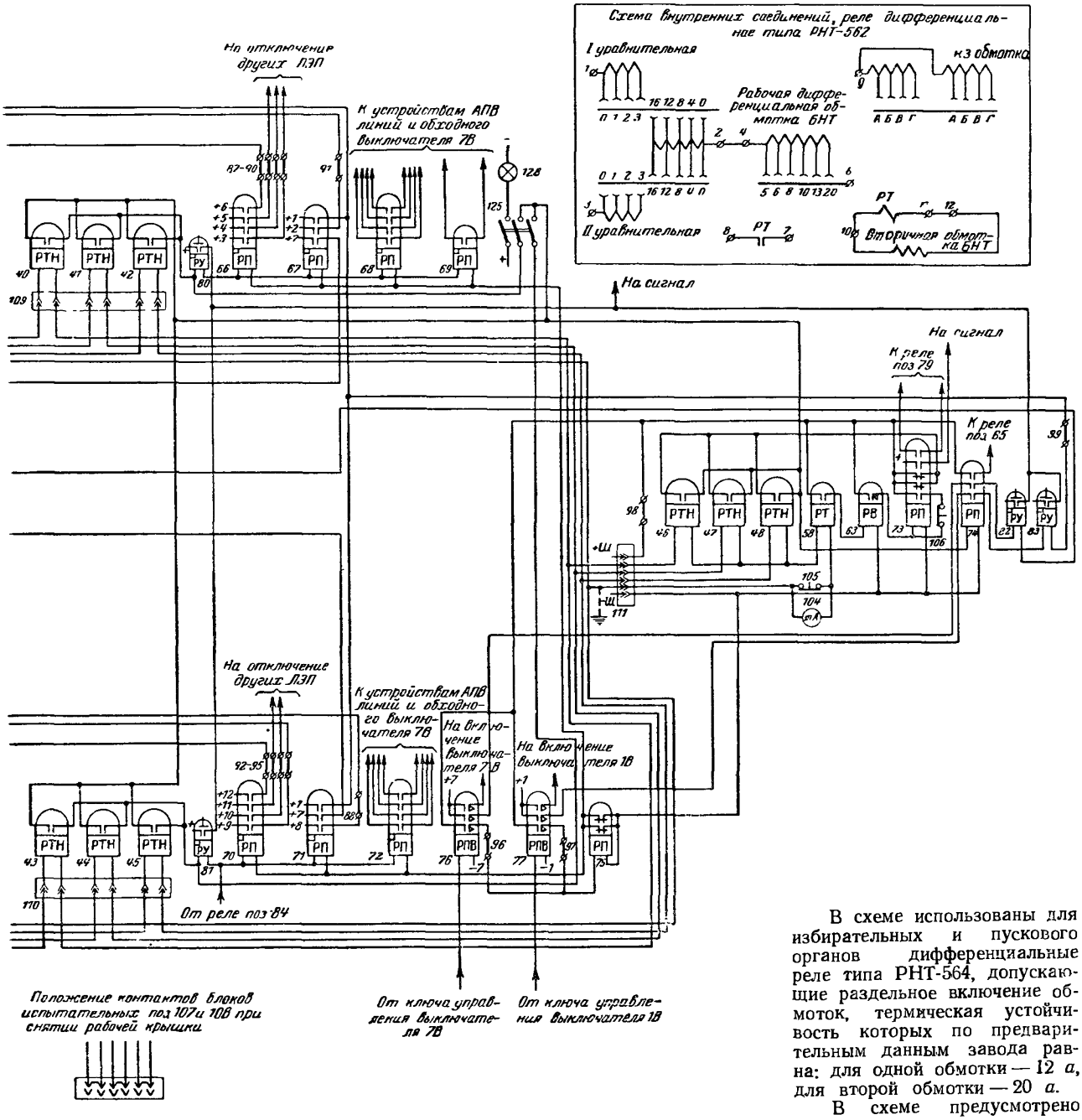


Рис 4-12. Схема дифференциальной токовой защиты шин 35 *кв* и выше подстанций с фиксированным

При установке выносных трансформаторов тока на шиносоединительном выключателе включение их в схему защиты шин выполняется согласно рис. 4-12,*а*.

Для быстрого отключения повреждения на участке между шиносоединительным выключателем и его трансформаторами тока предусмотрено устройство, состоящее из реле тока *62*, реле времени *64* и указательного реле *84*, которое действует с небольшой выдержкой времени на отключение элементов II системы шин.

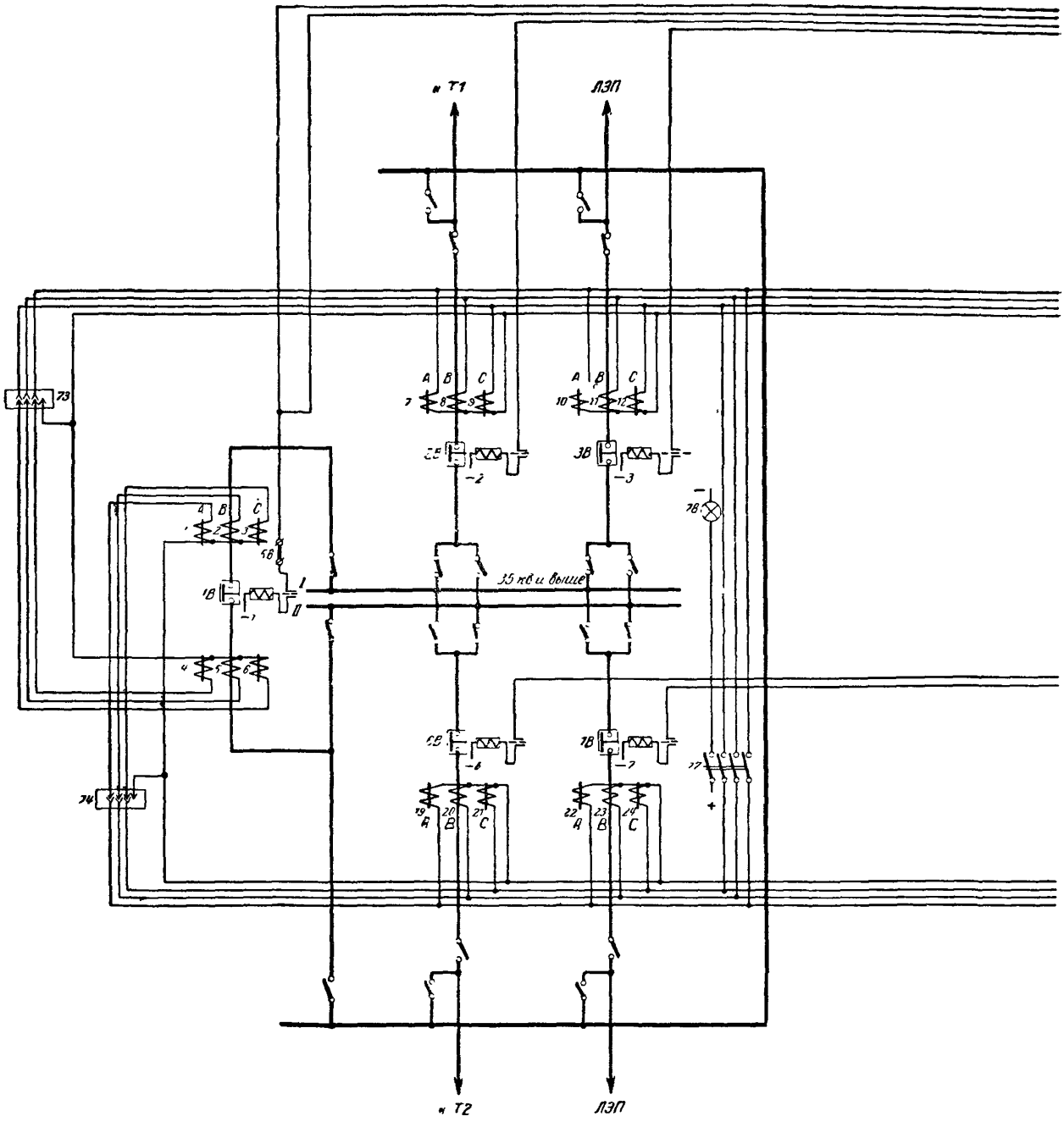
Схема рис. 4-12,*б* дана для случая установки трансформаторов тока для защиты шин с двумя различными коэффициентами трансформации, когда применение реле типа РНТ-562 недопустимо из-за недостаточной термической его устойчивости.



присоединением элементов при наличии обходного выключателя.

В схеме использованы для избирательных и пускового органов дифференциальные реле типа РНТ-564, допускающие раздельное включение обмоток, термическая устойчивость которых по предварительным данным завода равна: для одной обмотки — 12 *а*, для второй обмотки — 20 *а*.

В схеме предусмотрено промежуточное реле типа РП-341 (*79*), с усиленными контактами, шунтирующими



обмотки реле тока *58* контроля исправности вторичных цепей трансформаторов тока защиты шин. Это требуется в связи с возможностью прохождения через обмотки реле контроля тока, превышающего его термическую устойчивость, в случае обрыва токовых цепей к избирательным или пусковым органам защиты.

Для управления реле типа РП-341 используются контакты промежуточного реле *73*.

Схема рис. 4-11,*в* дана для случая недостаточной чувствительности защиты шин при неуспешном АПВ шин от питающей линии. В целях быстрого отключения вышеуказанной линии при неуспешном АПВ предусматриваются дополнительно реле тока типа ЭТ-521 *59*, *60* и *61*, включенные последовательно с токовыми цепями пусковых органов защиты шин.

Защита имеет выдержку времени с самоудерживанием на время, достаточное для отключения линии при неуспешном АПВ.

Возврат реле времени *65* осуществляется автоматически его контактом с выдержкой времени.

Предусмотренными отключающими устройствами *100—103* схема вводится для действия на линиях, на которых предусматривается АПВ шин.

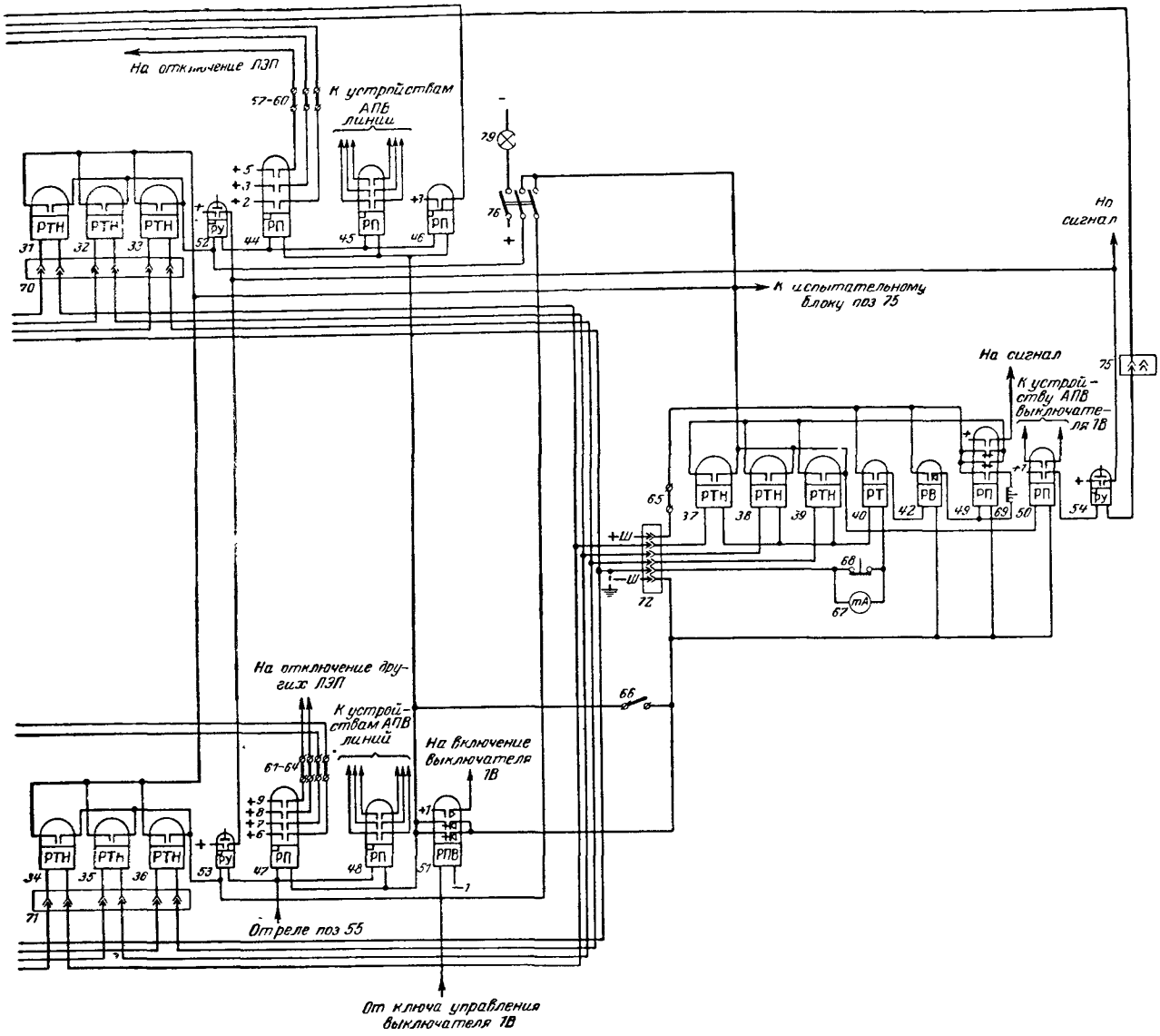


Рис. 4-13. Схема дифференциальной токовой защиты шин 35 *кв* и выше подстанций с фиксированным присоединением элементов при использовании шиносоединительного выключателя в качестве обходного.

1—24—трансформатор тока; *31—39*—реле дифференциальное типа РНТ-562; *40*—реле тока типа ЭТ-521; *41*—реле тока типа ЭТ-523/р; *42*—реле времени типа ЭВ-133А; *43*—реле времени типа ЭВ-114А; *44—48*—реле промежуточное типа РП-24; *49—50*—реле промежуточное типа РП-23; *51*—реле промежуточное типа РП-252; *52—54*—реле указательное типа РУ-21; *55—66*—устройство отключающее типа НКР-2; *67*—миллиамперметр переменного тока; *68—69*—кнопка; *70—72*—блок испытательный типа БИ-6; *73—75*—блок испытательный типа БИ-4; *76*—рубильник трехполюсный; *77*—рубильник четырехполюсный; *78—79*—лампа сигнальная.

Примечание. Для шин 35 *кв* (с малыми токами замыкания на землю) схема защиты шин выполняется двухфазной в двухрелейном исполнении, а для шин 110 *кв* и выше (с большими токами замыкания на землю)—трехфазной в трехрелейном исполнении.

3. Схема дифференциальной токовой защиты шин 35 кв и выше подстанций с фиксированным присоединением элементов при использовании шиносоединительного выключателя в качестве обходного (рис. 4-13).

Схема применяется для защиты шин 35 *кв* и выше подстанций, постоянно работающих на обеих системах шин, при использовании шиносоединительного выключателя в качестве обходного.

Защита выполнена аналогично защите на рис. 4-12 и отличается от последней отсутствием обходного выключателя и цепей, связанных с ним.

На время вывода в ревизию шиносоединительного выключателя отключающее устройство *66* должно быть замкнуто, чем подается *минус* оперативного тока на защиту независимо от положения шиносоединительного выключателя.

При использовании шиносоединительного выключателя в качестве обходного предполагается перевод линии, у которой выключатель заменяется шиносоединительным, на I систему шин. Для этого режима работы шиносоединительного выключателя необходимо снять крышку испытательного блока *74* и *75*.

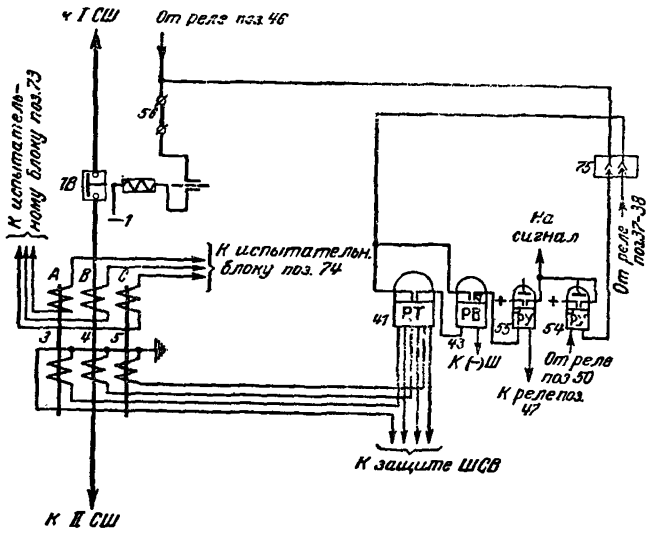


Рис. 4-13а.

В схеме рис. 4-13а предусмотрено устройство для быстрого отключения повреждения на участке между шиносоединительным выключателем и его трансформаторами тока. Устройство аналогично приведенному для защиты шин по схеме рис. 4-12,*а*.

4. Схема дифференциальной токовой защиты шин 35 кв и выше подстанций с двумя выключателями на один присоединенный элемент (рис. 4-14).

Схема применяется для защиты шин 35 *кв* и выше подстанций с двумя выключателями на присоединенный элемент.

Для каждой системы шин предусматривается отдельная защита, не зависящая от защиты другой системы. Для этого трансформаторы тока, установленные на развилке у каждого выключателя одной системы шин, соединяются между собой параллельно и к ним дифференциально приключаются реле типа РНТ-562 с насыщающимися трансформаторами тока.

Аналогично выполняется соединение трансформаторов тока и реле типа РНТ-562, установленных на развилке у выключателей другой системы шин. Наличие двух комплектов защиты обеспечивает избирательное отключение поврежденной системы шин. Схема защиты выполнена для трансформаторов тока с одинаковым коэффициентом трансформации для каждой системы шин.

В схеме предусмотрено устройство контроля исправности вторичных цепей трансформаторов тока с помощью реле тока и миллиамперметра, включенных в нулевой провод трансформаторов тока каждой из системы шин аналогично рис. 4-12.

Схема выполнена с учетом АПВ одного из питающих элементов, для чего в выходных цепях защиты каждой из систем шин предусмотрены контакты для исключения АПВ других элементов, не используемых для АПВ шин.

Схема дана для случая установки трансформаторов тока только с одной стороны выключателя.

Для отключения коротких замыканий между трансформаторами тока и выключателем необходимо предусмотреть специальные устройства для быстрого отключения второго выключателя элемента, в цепи которого произошло повреждение, и этим отделить неповрежденную систему шин от поврежденной.

4-2. ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ МОЩНОСТЬЮ ДО 2 000 *квт*

а) Схемы защиты турбогенераторов 2—6 *кв* мощностью до 2 000 *квт*

1. *При наличии выводов отдельных фаз обмоток статора со стороны его нейтрали (рис. 4-15).*

Типы защит:

1) продольная дифференциальная токовая без выдержки времени — от многофазных замыканий в обмотке статора;

2) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыкания на землю обмотки статора;

3) максимальная токовая с независимой выдержкой времени — от внешних многофазных замыканий;

4) максимальная токовая — от перегрузки статора.

Краткое описание

Дифференциальная защита применяется на генераторах, работающих параллельно с маломощной системой, если не может быть использована токовая отсечка из-за недостаточной чувствительности. В противных случаях вместо дифференциальной защиты должна предусматриваться токовая отсечка без выдержки времени, устанавливаемая со стороны выводов генератора к сборным шинам.

Для снижения величины тока небаланса защиты последовательно с обмотками реле включены добавочные сопротивления 5—10 *ом* на фазу.

При соединении обмоток статора в треугольник схема дифференциальной защиты выполняется, как показано на рис. 4-15,*б*, при этом один из комплектов трансформаторов тока соединяется в треугольник для компенсации углового сдвига фаз между трансформаторами тока схемы защиты.

Защита действует без выдержки времени на отключение выключателя и АГП генератора.

Максимальная токовая защита от замыкания на землю в обмотке статора предусматривается только в случаях, когда емкостный ток замыкания на землю сети генераторного напряжения составляет 5 *а* или больше.

Защита выполняется с помощью реле тока типа ЭТД-551/60, присоединенного к кабельному трансформатору тока нулевой последовательности типов ТЗ, ТФ и др.

Учитывая относительно небольшую величину броска емкостного тока генератора при замыкании на землю вне генератора, в схеме защиты не предусматривают выдержку времени.

В схеме предусмотрен вольтметр, приключенный к разомкнутому треугольнику обмотки трансформатора напряжения типа НТМИ для контроля сопротивления изоляции статора до присоединения его к шинам, а также для ориентировочного выяснения места замыкания на землю в поврежденном статоре.

Максимальная токовая защита от внешних многофазных коротких замыканий выполнена с помощью реле тока типа ЭТ-521 в двухфазном исполнении, присоединенных к трансформаторам тока со стороны нейтрали генератора. Двухфазное выполнение принято в целях упрощения. При недостаточной чувствительности защита предусматривается с реле тока в трех фазах.

При невозможности обеспечить достаточную чувствительность максимальной токовой защиты при на-

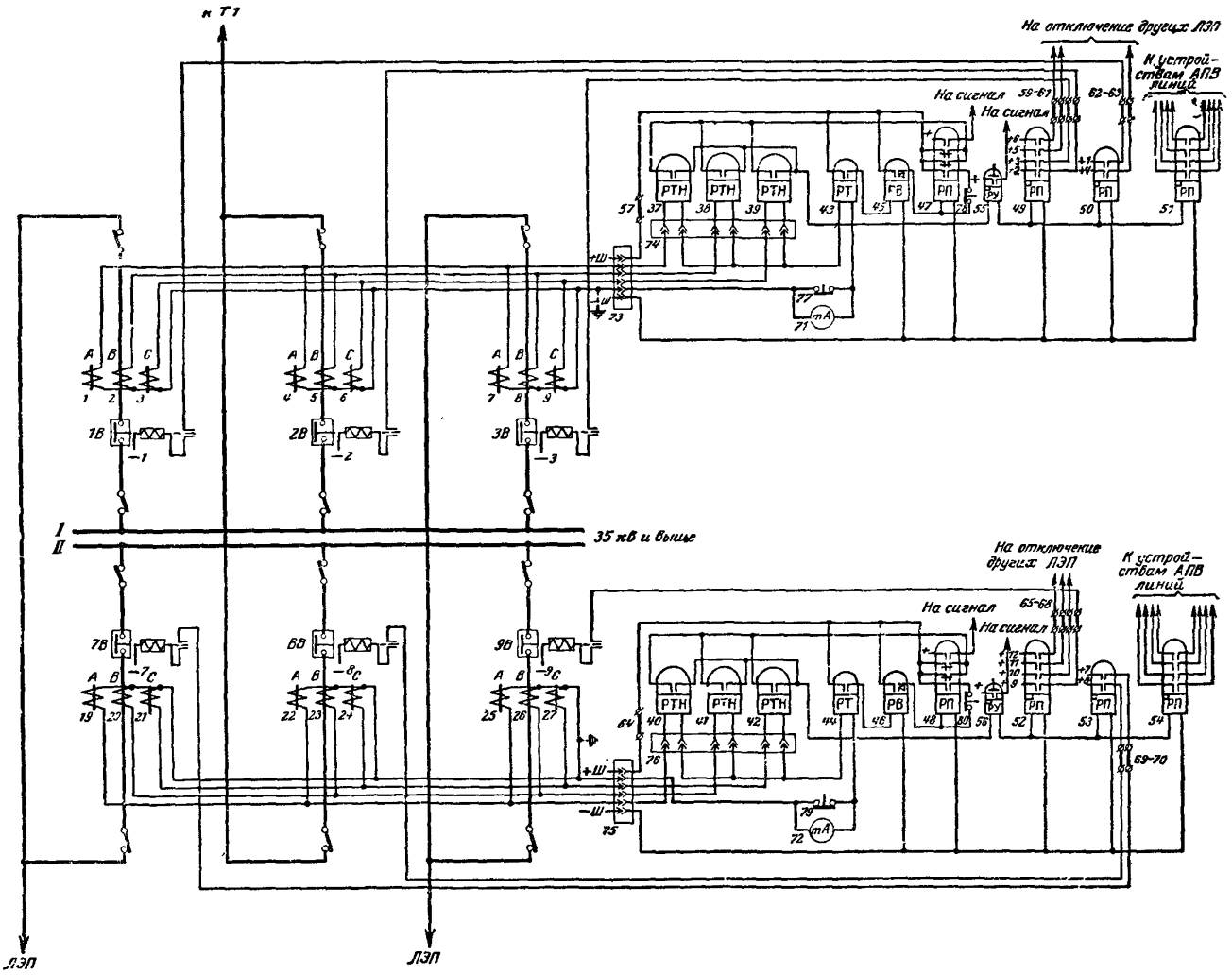


Рис. 4-14. Схема дифференциальной токовой защиты шин 35 *кв* и выше подстанций с двумя выключателями на один присоединенный элемент.

1—9; *19—27*—трансформатор тока; *37—42*—реле дифференциальное типа РНТ-562; *43—44*—реле тока типа ЭТ-521; *45—46*—реле времени типа ЭВ-133А; *47—48*—реле промежуточное типа РП-23; *49—54*—реле промежуточное типа РП-24; *55—56*—реле указательное типа РУ-21; *57—70*—устройство отключающее типа НКР-2; *71—72*—миллиамперметр переменного тока, *73—76*—блок испытательный типа БИ-6; *77—80*—кнопка.

Примечание. Для шин 35 *кв* (с малыми токами замыкания на землю) схема защиты шин выполняется двухфазной в двухрелейном исполнении, а для шин 110 *кв* и выше (с большими токами замыкания на землю)—трехфазной в трехрелейном исполнении.

дежной отстройке от токов перегрузки статора защиту следует выполнить по одному из следующих принципов:

1) Максимальная токовая защита с пуском минимального напряжения по схеме рис. 4-15,*в*. Блокировка минимального напряжения выполняется с помощью трех реле напряжения типа ЭН-529, включенных на междуфазные напряжения.

2) Максимальная токовая защита с комбинированным пуском напряжения по схеме рис. 4-15,*г*. Блокировка выполняется с помощью одного реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1, состоящего из активно-емкостного фильтра напряжения обратной последовательности, реле типа ЭТ-521 и одного реле минимального напряжения типа ЭН-529, включенного на одно междуфазное напряжение.

3) Токовая защита обратной последовательности с дополнением для действия при трехфазных коротких замыканиях по схеме рис. 4-15,*г*. Токовая защита обратной последовательности выполнена с помощью устройства фильтра-реле обратной последовательности типа РТ-2, состоящего из трансформаторного фильтра и реле тока типа ЭТ-521. Дополнение для действия при симметричных повреждениях состоит из одного реле тока типа ЭТ-521, включенного в одну из фаз трансформаторов тока, и реле напряжения типа ЭН-529, включенного на междуфазное напряжение.

4) Максимальная токовая защита от перегрузки статора выполнена с помощью одного реле тока типа ЭТ-521, включенного в одну из фаз трансформаторов тока, и действует с выдержкой времени на сигнал.

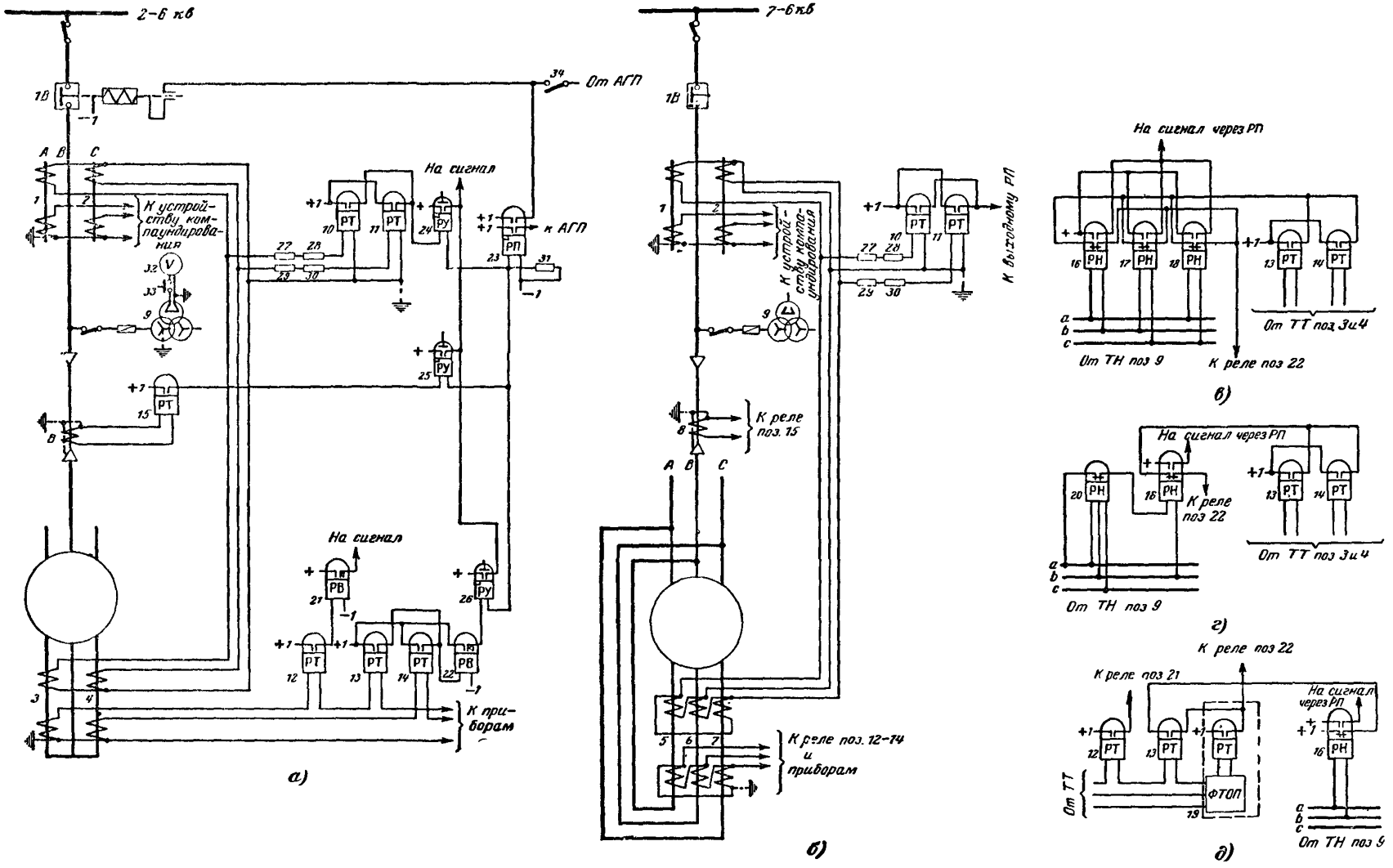


Рис. 4-15. Схема защиты турбогенератора 2—6 *кв* мощностью до 2 000 *квт* при наличии выводов отдельных фаз обмоток статора со стороны его нейтрали.

1—7—трансформатор тока; *8*—трансформатор тока нулевой последовательности; *9*—трансформатор напряжения типа НТМИ; *10—14*—реле тока типа ЭТ-521; *15*—реле тока типа ЭТД-551/60; *16—18*—реле напряжения типа ЭН-529; *19*—фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; *20*—фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *21*—реле времени типа ЭВ-133А; *22*—реле времени типа ЭВ-134А; *23*—реле промежуточное типа РП-24; *24—26*—реле указательное типа РУ-21; *27—31*—сопротивление добавочное; *32*—вольтметр; *33*—кнопка; *34*—отключающее устройство типа НКР-2.

2. *При отсутствии выводов отдельных фаз со стороны нейтрали статора (рис. 4-16).*

Типы защит:

1) максимальная токовая отсечка без выдержки времени—от многофазных замыканий в обмотке статора;

2) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыкания на землю обмотки статора;

3) максимальная токовая — от внешних многофазных замыканий.

4) максимальная токовая — от перегрузки статора.

Краткое описание

Максимальная токовая отсечка от многофазных замыканий в обмотке статора выполняется в двухфазном исполнении с помощью реле тока типа ЭТ-521 (рис. 4-16,*а*) или с помощью электромагнитного элемента реле тока типа РТ-83 (рис. 4-16,*б*).

Для защиты используются трансформаторы тока, установленные со стороны выключателя, для охвата зоной действия ошиновки, кабелей и генератора. В случае использования трансформаторов тока, установленных у выводов генератора, в зону действия отсечки не входят ошиновка и кабели (рис. 4-16,*б*). Отсечка действует без выдержки времени на отключение выключателя и АГП. Защита применяется в случае работы защищаемого генератора параллельно с другими генераторами или электрической системой.

Максимальная токовая защита нулевой последовательности от замыкания на землю обмотки статора и максимальная токовая от перегрузки статора выполняются аналогично соответствующим защитам, приведенным на рис. 4-15,*а*.

Максимальная токовая защита от внешних многофазных замыканий выполняется с независимой выдержкой времени по схемам рис. 4-15,*а*, *в*, *г*, *д* или с зависимой выдержкой времени по схеме рис. 4-16,*б*, *в*.

Максимальная токовая защита с зависимой характеристикой выполняется с помощью индукционного элемента реле тока типа РТ-83 в двухфазном исполнении.

Выполнение защиты с реле типа РТ-83 уменьшает количество необходимых реле до двух (вместо четырех реле тока и одного реле времени) и улучшает селективность аналогичных защит на генераторах, работающих параллельно с поврежденным генератором, учитывая ограниченно зависимую характеристику защиты.

При небольшой мощности генератора и малоответственной нагрузке могут быть применены токовая отсечка от многофазных повреждений статора и максимальная токовая защита от внешних многофазных замыканий, выполненные с помощью одного реле тока типа РТ-83, включенного на разность токов двух фаз (рис. 4-16,*в*).

б) Схемы защиты блоков турбогенератор — двухобмоточный трансформатор 35—6/6—2 *кв* мощностью до 2 000 *квт*

1. *При наличии выводов отдельных фаз обмоток статора со стороны нейтрали и ответвления на шины генераторного напряжения (рис. 4-17).*

Типы защит:

1) общая продольная дифференциальная токовая защита блока — от многофазных замыканий;

2) газовая защита — от повреждений внутри кожуха трансформатора и от понижения уровня масла;

3) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыкания на землю обмотки статора;

4) максимальная токовая с независимой выдержкой времени — от внешних многофазных замыканий;

5) максимальная токовая — от перегрузки блока.

Краткое описание

Общая продольная дифференциальная токовая защита охватывает весь блок, используя трансформаторы тока, установленные со стороны нейтрали генератора и на ответвлении, а также со стороны высшего напряжения трансформатора. Защита выполнена с помощью дифференциальных реле типа РНТ-562.

Дифференциальная защита предусмотрена в двухфазном исполнении. При недостаточной чувствительности защиты схема должна быть выполнена в трехфазном исполнении с помощью трех реле типа РНТ-562.

Защита действует без выдержки времени на отключение блока и АГП генератора.

Газовая защита выполнена с возможностью ее действия как на сигнал, так и на отключение.

Защита предусматривается в случае установки трансформатора в камерах, выходящих в помещение, где может находиться обслуживающий персонал (на схеме защита показана пунктиром).

Максимальная токовая защита от замыкания на землю выполнена аналогично соответствующей защите для генератора, приведенной на рис. 4-15,*а*.

Максимальная токовая защита от внешних многофазных коротких замыканий выполнена с реле тока типа ЭТ-521 в трехфазном исполнении для повышения чувствительности защиты к замыканиям между двумя фазами за трансформатором с соединением обмоток звезда-треугольник. Реле присоединяются к трансформаторам тока со стороны нейтрали генератора и выполняют также функции резервирования основных защит блока и защит элементов, приключенных к шинам генераторного напряжения. Реле времени защиты с первой выдержкой времени действует на отключение выключателя стороны высшего напряжения, а со второй — на отключение блока и АГП генератора.

Максимальная токовая защита от перегрузки выполнена в отдельности для генератора и для трансформатора с помощью реле тока типа ЭТ-521, включенных в одну из фаз трансформаторов тока каждого из вышеуказанных элементов.

Защита имеет общее реле времени для обоих элементов, которое действует на сигнал.

2. *При наличии выводов отдельных фаз обмоток статора со стороны нейтрали и ответвления от генератора к понижающему трансформатору (рис. 4-18).*

Типы защит:

1) общая продольная дифференциальная токовая защита блока — от многофазных замыканий;

2) газовая защита — от повреждений внутри кожуха трансформатора и от понижения уровня масла;

3) максимальная токовая — от перегрузки блока;

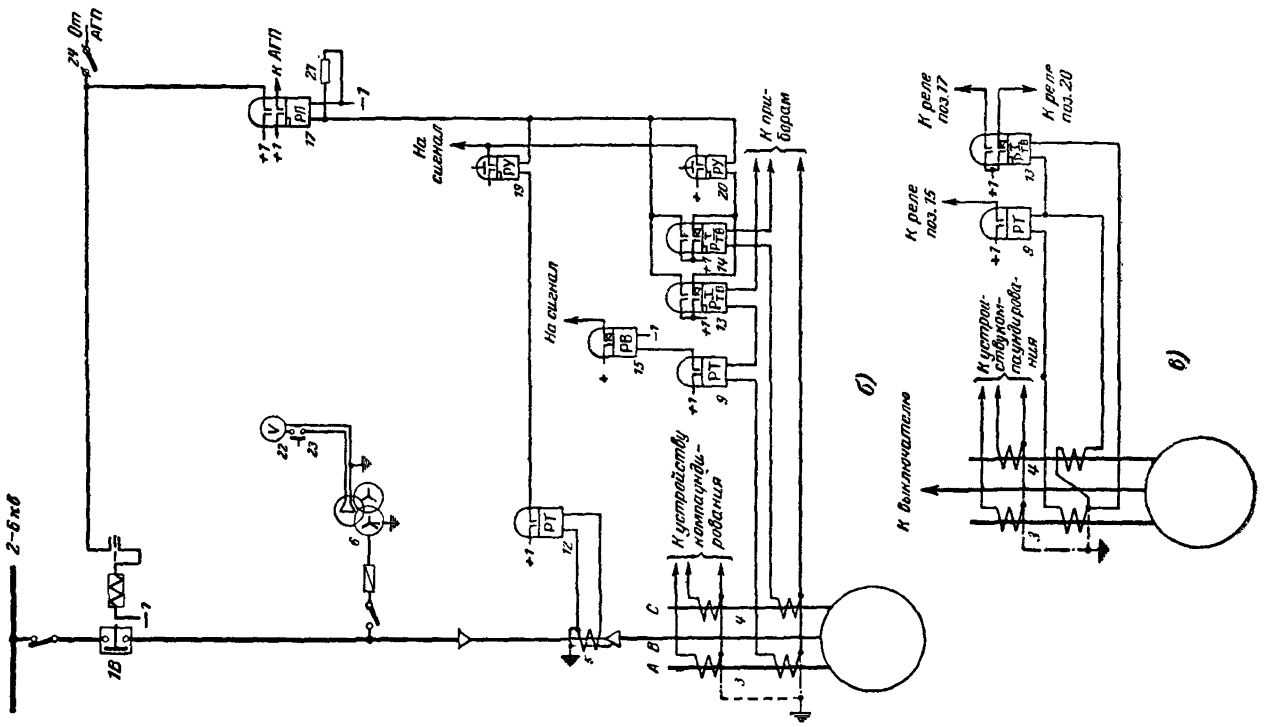
4) максимальная токовая с независимой выдержкой времени — от внешних многофазных замыканий;

5) максимального напряжения нулевой последовательности — от однофазных замыканий на землю в элементах блока на генераторном напряжении;

6) максимальная токовая нулевой последовательности — от однофазных замыканий в обмотке низшего напряжения понижающего трансформатора и в присоединенной к нему сети.

Краткое описание

Общая продольная дифференциальная токовая защита охватывает весь блок и частично понижающий трансформатор, если чувствительность защиты доста-



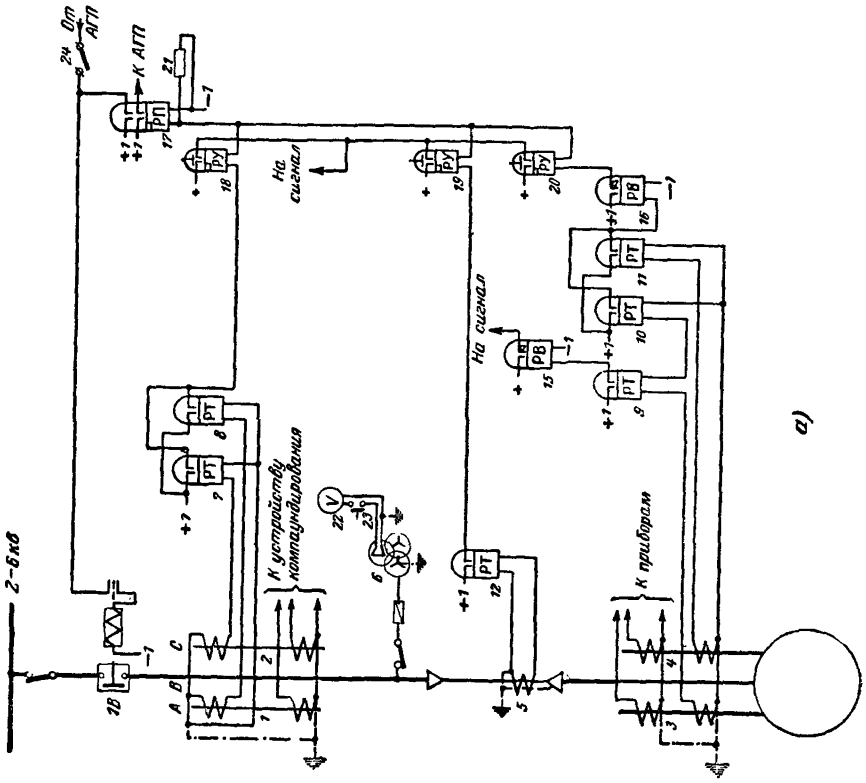


Рис. 4-16. Схема защиты турбогенератора 2—6 кв мощностью до 2 000 квт, не имеющего выводов отдельных фаз со стороны нейтрали статора.

1—4 — трансформатор тока; *5* — трансформатор тока нулевой последовательности; *6* — трансформатор напряжения типа НТМИ; *7—11* — реле тока типа ЭТ-521; *12* — реле тока типа ЭТД-551/60; *13—14* — реле тока типа РТ-83; *15* — реле времени типа ЭВ-133А; *16* — реле времени типа ЭВ-134А; *17* — реле промежуточное типа РП-24; *18—20* — реле указательное типа РУ-21; *21* — сопротивление добавочное; *22* — вольтметр; *23* — кнопка; *24* — отключающее устройство типа НКР-2.

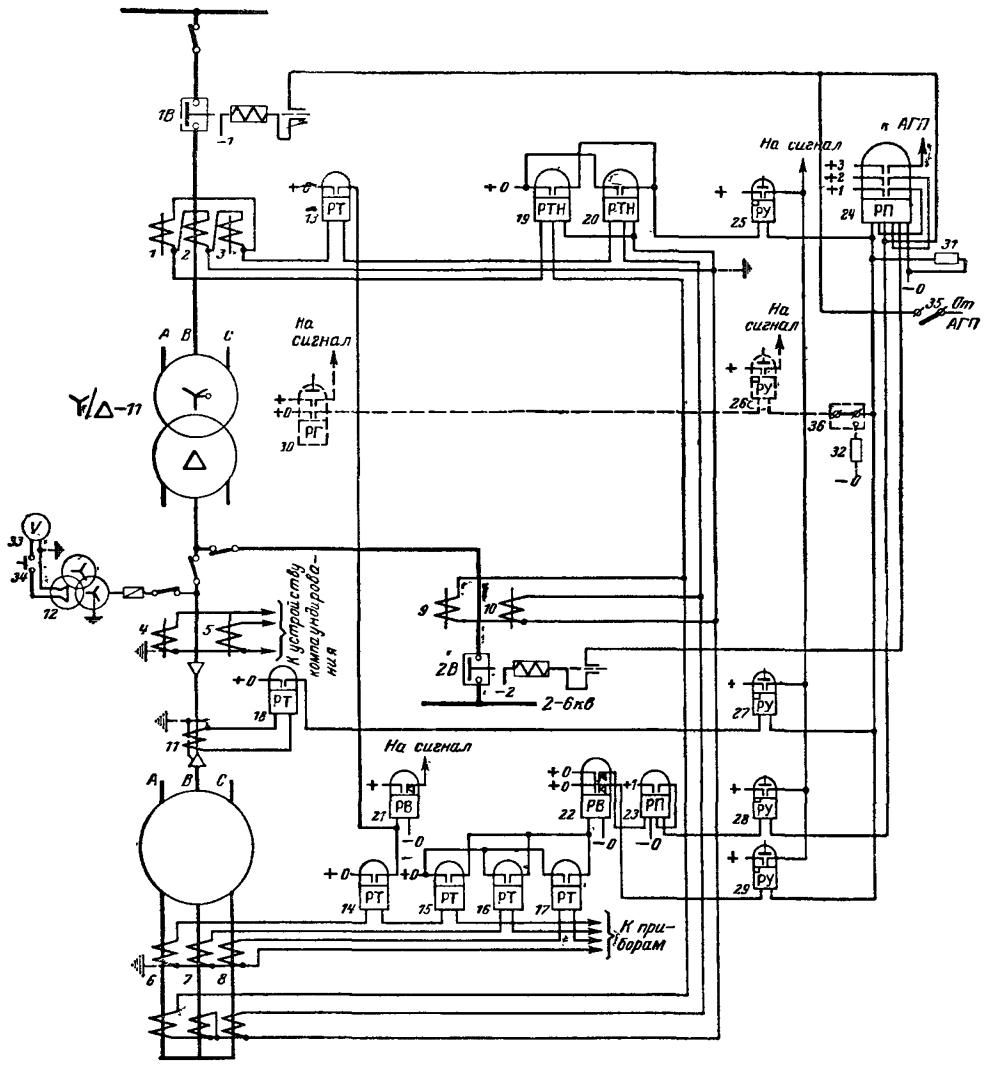


Рис. 4-17. Схема защиты блока турбогенератор — двухобмоточный трансформатор 35—6/6—2 *кв* мощностью до 2 000 *квт* при наличии выводов отдельных фаз обмоток статора со стороны нейтрали и ответвления на шины генераторного напряжения.

1—10 — трансформатор тока; *11* — трансформатор тока нулевой последовательности; *12* — трансформатор напряжения типа НТМИ; *13—17* — реле тока типа ЭТ-521; *18* — реле тока типа ЭТД-551/60; *19—20* — реле дифференциальное типа РНТ-562; *21* — реле времени типа ЭВ-133А; *22* — реле времени типа ЭВ-132А; *23—24* — реле промежуточное типа РП-255; *25—29* — реле указательное типа РУ-21; *30* — реле газовое; *31—32* — сопротивление добавочное; *33* — вольтметр; *34* — кнопка; *35—36* — отключающее устройство типа НКР-2.

точна при отстройке ее от коротких замыканий на стороне низшего напряжения понижающего трансформатора. В противном случае необходимо установить трансформаторы тока у понижающего трансформатора, как показано на рис. 4-18,*а* пунктиром. В остальном дифференциальная защита аналогична схеме рис. 4-17.

Газовая защита повышающего и понижающего трансформаторов выполнена аналогично соответствующей защите трансформатора по схеме рис. 4-17,*а*.

Защита предусматривается в случае установки трансформаторов внутри цеха (показано на схеме пунктиром).

Максимальная токовая защита от перегрузки выполнена аналогично соответствующей защите по схеме рис. 4-17,*а*.

Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени от внешних многофазных замыканий выполняется с помощью реле тока типа ЭТ-521 в трехфазном исполнении для повышения ее чувствительности при несимметричных повреждениях за трансформаторами. Защита резервирует также основные защиты блока и защиты элементов, приключенных к шинам высшего и низшего напряжений. Защита с первой выдержкой времени действует на отключение выключателя стороны высшего напряжения, а со второй — на отключение блока и АГП генератора. В зависимости от степени

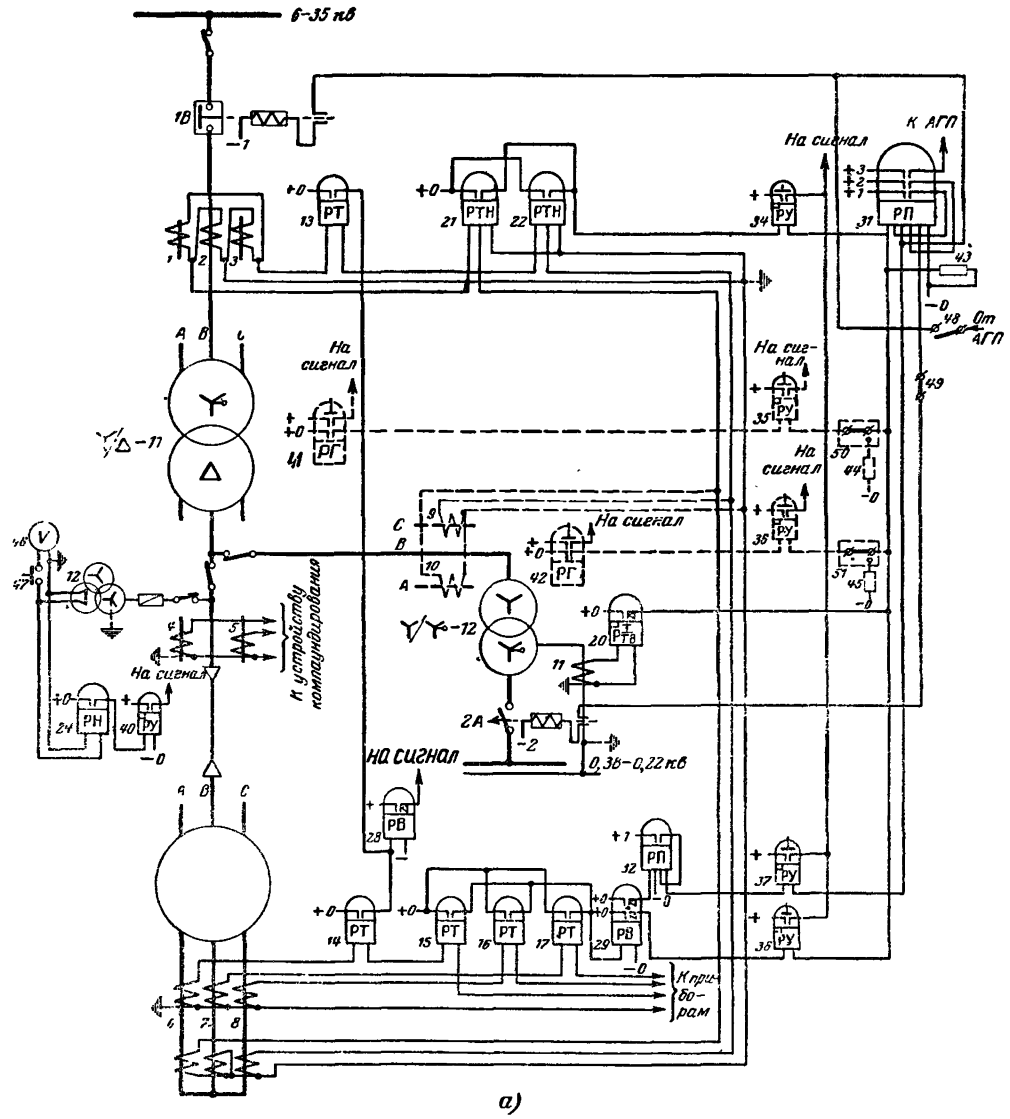
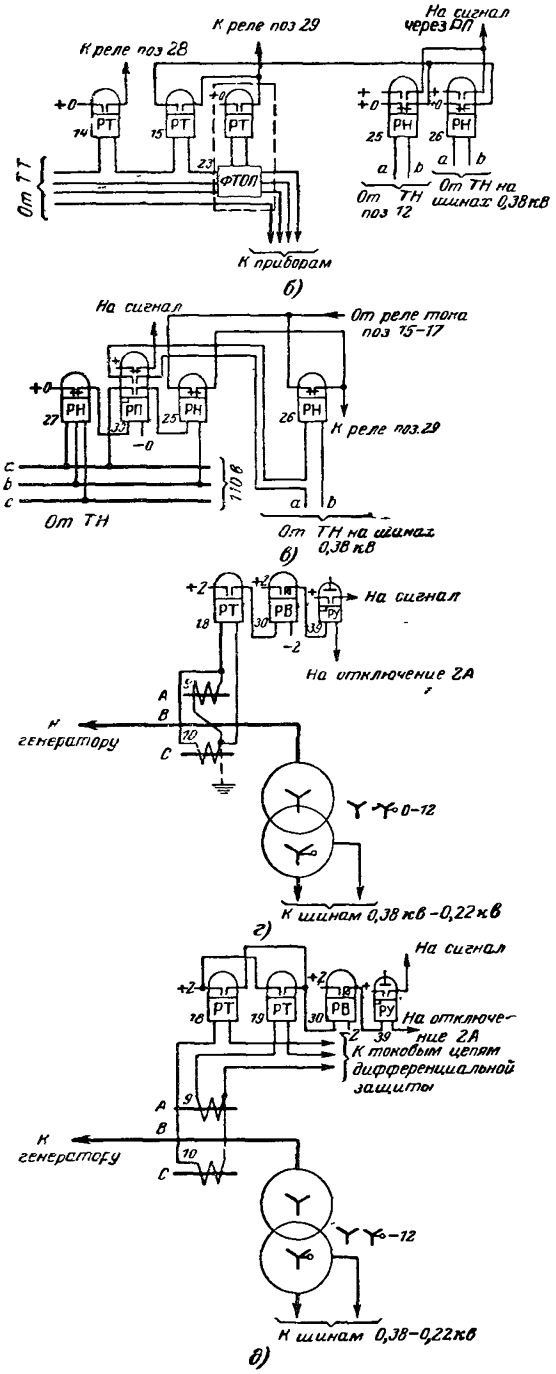


Рис. 4-18. Схема защиты блока турбогенератор—двухобмоточный трансформатор 35—6/6—2 *кв* мощностью до 2 000 *квт* при наличии ответвления от генератора

1—10—трансформатор тока; *11*—трансформатор тока нулевой последовательности; *12*—трансформатор напряжения типа НТМИ; *22*—реле дифференциальное типа РНТ-562; *23*—фильтр-реле тока обратной последовательности типа РТ-2; *24*—реле напряжения типа реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *28*—реле времени типа ЭВ-133А; *29*—реле времени типа ЭВ-132А; *30*—реле *34—39*—реле указательное типа РУ-21; *40*—реле указательное типа РУ-21; *41—42*—реле газовое; *43—45*—сопротивление добавочное; типа



выводов отдельных фаз обмоток статора со стороны нейтрали к понижающему трансформатору.

13—19—реле тока типа ЭТ-521; *20*—реле тока типа РТ-81; *21*—ЭН-526/60 ДМ; *25—26*—реле напряжения типа ЭН-529; *27*—фильтр-времени типа ЭВ-134А; *31—33*—реле промежуточное типа РП-255; *46*—вольтметр; *47*—кнопка; *48—51*—отключающее устройство НКР-2.

ответственности потребителей, присоединенных к шинам повышающего и понижающего трансформаторов, и возможности резервирования питания потребителей очередность подачи импульса на отключение от защиты уточняется.

При недостаточной чувствительности максимальной токовой защиты к повреждениям на стороне низшего напряжения понижающего трансформатора защита может быть выполнена по одному из следующих принципов:

1) токовая обратной последовательности с дополнением для действия при трехфазных коротких замыканиях по схеме рис. 4-18,*б*;

2) максимальная токовая с комбинированным пуском напряжения по схеме рис. 4-18,*в*;

3) максимальная токовая по схеме рис. 4-18,*а* с дополнением одного реле тока типа ЭТ-521, включенного на разность токов двух фаз трансформаторов тока, установленных на ответвлении к понижающему трансформатору, как указано на рис. 4-18,*г*.

В случае установки трансформаторов тока на ответвлении к понижающему трансформатору для использования их в схеме дифференциальной защиты блока максимальная токовая защита по схеме рис. 4-18,*а* дополняется двумя реле тока типа ЭТ-521, присоединенными к вышеуказанным трансформаторам тока, как изображено на рис. 4-18,*д*.

Защита максимального напряжения нулевой последовательности выполняется с помощью одного реле типа ЭН-526/60ДМ, приключенного к разомкнутому треугольнику обмотки пятистержневого трансформатора напряжения типа НТМИ. Защита действует на сигнал.

Максимальная токовая защита нулевой последовательности от однофазных замыканий в обмотке низшего напряжения понижающего трансформатора выполняется с помощью одного реле тока типа РТ-81 с ограниченно зависимой характеристикой, приключенного к трансформатору тока, установленному в нулевом проводе обмотки низшего напряжения трансформатора.

Защита является резервной к защитам элементов, отходящих от шин 0,38 *кв*. Отсечка, встроенная в реле типа РТ-81, не используется. Защита действует на отключение блока и АГП генератора.

3. *При отсутствии выводов отдельных фаз обмоток статора со стороны нейтрали и наличии ответвления на шины генераторного напряжения (рис. 4-19,а).*

Типы защит:

1) максимальная токовая отсечка без выдержки времени — от многофазных замыканий в обмотке статора генератора;

2) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыкания на землю обмотки статора генератора;

3) максимальная токовая отсечка без выдержки времени — от многофазных замыканий в трансформаторе;

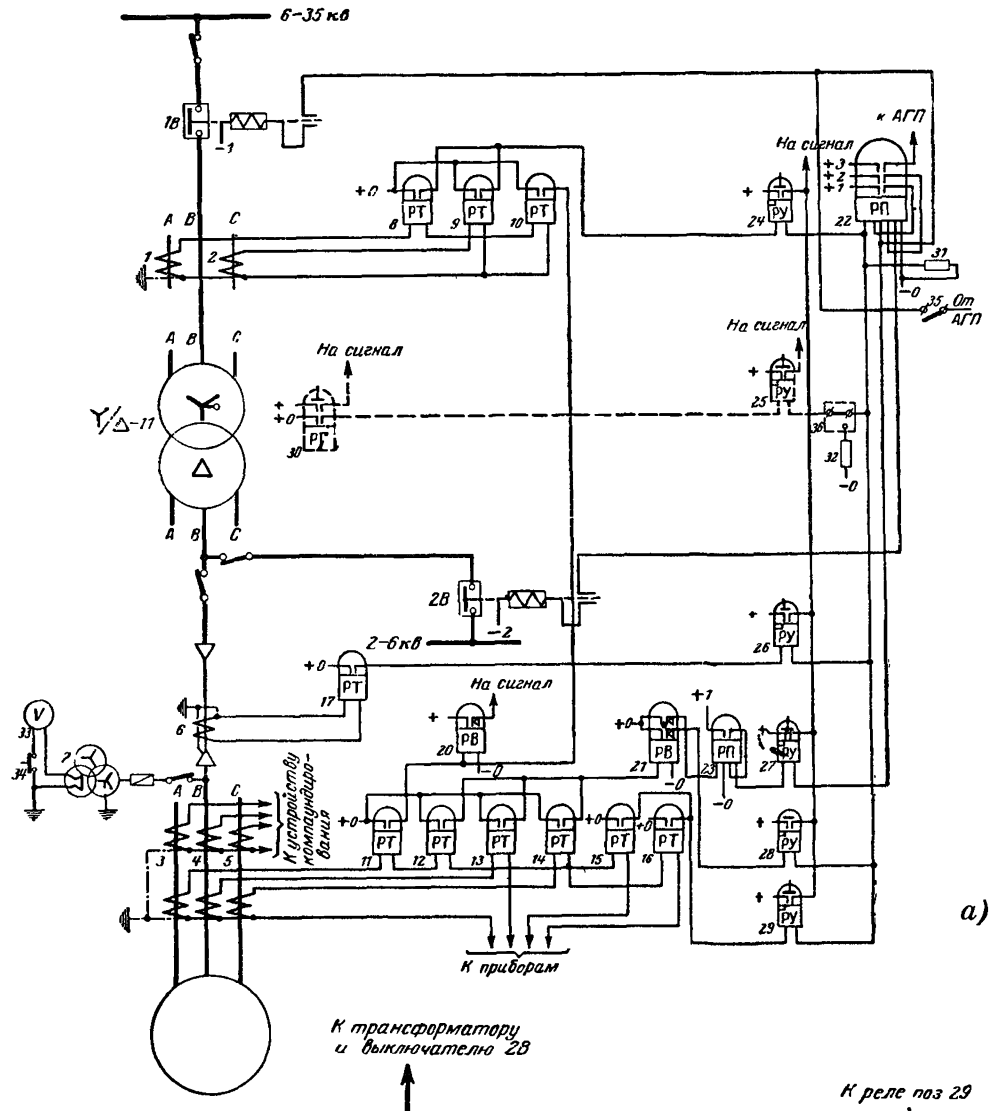
4) газовая — от повреждений внутри кожуха трансформатора и от понижения уровня масла;

5) максимальная токовая с независимой выдержкой времени — от внешних многофазных замыканий;

6) максимальная токовая — от перегрузки блока.

Краткое описание

Максимальная токовая отсечка от многофазных замыканий в обмотке статора выполняется с помощью реле тока типа ЭТ-521 по схеме 4-19,*а* или с помощью реле типа РТ-83 по схеме рис. 4-19,*б* в трехфазном исполнении. Защита действует без выдержки времени на отключение блока и АГП генератора. Защита при-



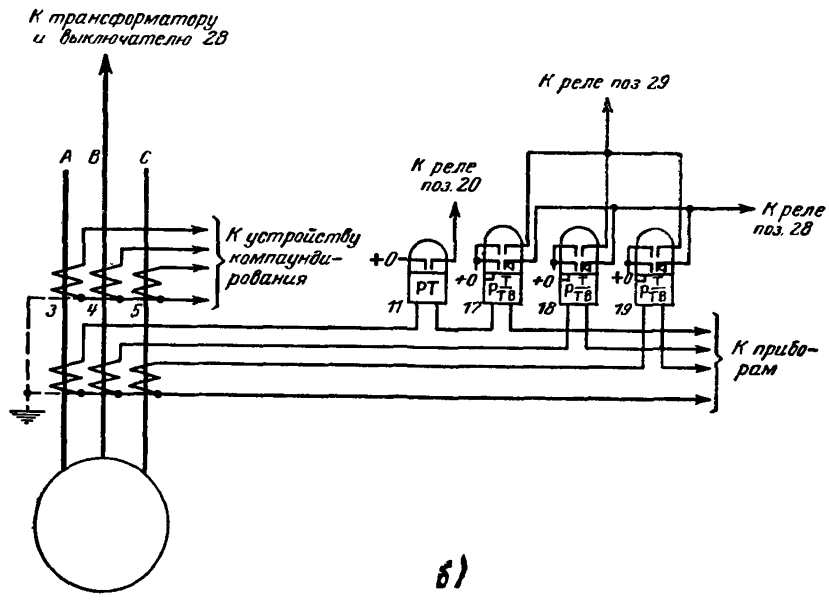


Рис 4-19. Схема защиты блока турбогенератор—двухобмоточный трансформатор 35—6/6—2 *кв* мощностью до 2 000 *квт* при отсутствии выводов отдельных фаз обмоток статора со стороны нейтрали и наличии ответвления на шины генераторного напряжения.

1—5 — трансформатор тока; *6* — трансформатор тока нулевой последовательности; *7*—трансформатор напряжения типа НТМИ; *8—16* — реле тока типа ЭТ-521; *17—19* — реле тока типа РТ-83; *20* — реле времени типа ЭВ-133А; *21* — реле времени типа ЭВ-132А; *22—23* — реле промежуточное типа РП-225; *24—29* — реле указательное типа РУ-21; *30* — реле газовое; *31—32* — сопротивление добавочное; *33* — вольтметр; *34* — кнопка; *35—36* — отключающее устройство типа НКР-2.

меняется при работе защищаемого генератора параллельно с другими генераторами или электрической системой.

Максимальная токовая защита нулевой последовательности от замыкания на землю обмотки статора выполнена аналогично соответствующей защите, приведенной на схеме рис. 4-15,*а*.

Максимальная токовая отсечка от многофазных замыканий в трансформаторе выполняется с помощью реле тока типа ЭТ-521 в двухфазном исполнении и действует без выдержки времени на отключение блока. Защита применяется при работе защищаемого трансформатора параллельно на высокой стороне с другими генераторами или электрической системой.

Газовая защита выполняется с возможностью ее действия как на сигнал, так и на отключение. Защита не применяется в случае установки на трансформаторе токовой отсечки. При расположении трансформатора в камерах, выходящих в помещение, где может находиться обслуживающий персонал, газовая защита устанавливается независимо от применения токовой отсечки (на схеме газовая защита показана пунктиром).

Максимальная токовая защита от внешних многофазных замыканий выполняется с помощью реле тока типа ЭТ-521 или реле РТ-83, присоединенных к трансформаторам тока у выводов генератора. Защита предусматривается в трехфазном исполнении и действует с первой выдержкой времени на отключение выключателя стороны высшего напряжения, а со второй — на отключение блока. В зависимости от степени ответственности потребителей, присоединенных к шинам повышающего трансформатора и генератора, очередность подачи импульса на отключение от защиты уточняется.

Максимальная токовая защита от перегрузки блока выполнена аналогично соответствующей защите, приведенной на схеме рис. 4-17.

4. *При отсутствии выводов отдельных фаз обмотки статора со стороны нейтрали и наличии ответвления от генератора к понижающему трансформатору (рис. 4-20).*

Типы защит:

1) максимальная токовая отсечка без выдержки времени — от многофазных замыканий в обмотке статора генератора;

2) максимального напряжения нулевой последовательности — от однофазных замыканий на землю в элементах блока на генераторном напряжении;

3) максимальная токовая отсечка без выдержки времени — от многофазных замыканий в трансформаторе;

4) газовая — от повреждений внутри кожуха трансформатора и от понижения уровня масла;

5) максимальная токовая — от перегрузки блока;

6) максимальная токовая с независимой выдержкой времени — от внешних многофазных замыканий;

7) максимальная токовая нулевой последовательности — от однофазных замыканий в обмотке низшего напряжения понижающего трансформатора и в присоединенной к нему сети.

Краткое описание

Максимальные токовые отсечки от многофазных замыканий в обмотках статора генератора и в трансформаторе, газовая защита, максимальная токовая защита от внешних многофазных повреждений, от перегрузки блока выполняются аналогично соответствующим защитам по схеме рис. 4-18,*а*.

Защита максимального напряжения нулевой последовательности от однофазных замыканий на землю в элементах блока на генераторном напряжении и максимальная токовая нулевой последовательности от однофазных замыканий в обмотке низшего напряжения понижающего трансформатора выполнены аналогично соответствующим защитам по схеме рис. 4-18,*а*.

При недостаточной чувствительности максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени к повреждениям на низшей стороне понижающего трансформатора защита может быть выполнена по одному из принципов, приведенных на схемах рис. 4-18,*б*—*д*.

Максимальная токовая защита от внешних многофазных замыканий может быть выполнена также с помощью реле типа РТ-83, электромагнитный элемент которых используется для токовой отсечки от многофазных повреждений в обмотке статора, а индукционный — от внешних многофазных замыканий, как приведено на схеме рис. 4-19,*б*.

При недостаточной чувствительности максимальной токовой защиты, выполненной с одним реле тока типа ЭТ-521, включенным на разность токов двух фаз (рис. 4-18,*г*), защита выполняется с помощью двух реле тока типа ЭТ-521, включенных полфазно к трансформаторам тока, установленным на ответвлении к понижающему трансформатору (рис. 4-20,*б*).

4-3. ЗАЩИТА СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ МОЩНОСТЬЮ ОТ 2 000 *квт*, РАБОТАЮЩИХ НА СБОРНЫЕ ШИНЫ

Виды защит генераторов

Для генераторов мощностью от 2 000 *квт* предусматривается защита от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

1) многофазных коротких замыканий в обмотке статора; 2) витковых замыканий в обмотке одной фазы статора (у генераторов, имеющих выводы параллельных ветвей или с соединением обмотки статора в треугольник); 3) замыканий на землю (корпус) в обмотке одной фазы статора; 4) замыканий на землю в двух точках обмотки возбуждения; 5) сверхтоков при сквозных коротких замыканиях; 6) сверхтоков при перегрузках; 7) повышения напряжения у гидрогенераторов; 8) замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения гидрогенераторов.

Защиты по п. 1, 2 и 3 действуют на отключение выключателя и автомата гашения поля (АГП), а для гидрогенераторов также на ввод противопожарного устройства, если оно выполнено автоматическим, и действуют на останов турбины.

Защиты по п. 5 и 7 действуют на отключение выключателя и АГП.

Защита по п. 6 на электростанциях с постоянным обслуживающим персоналом действует на сигнал, а на гидростанциях без постоянного обслуживающего персонала — на сигнал, автоматическую разгрузку и отключение выключателя и АГП.

Защита по п. 4 действует на сигнал или на отключение и защита по п. 8 — на сигнал.

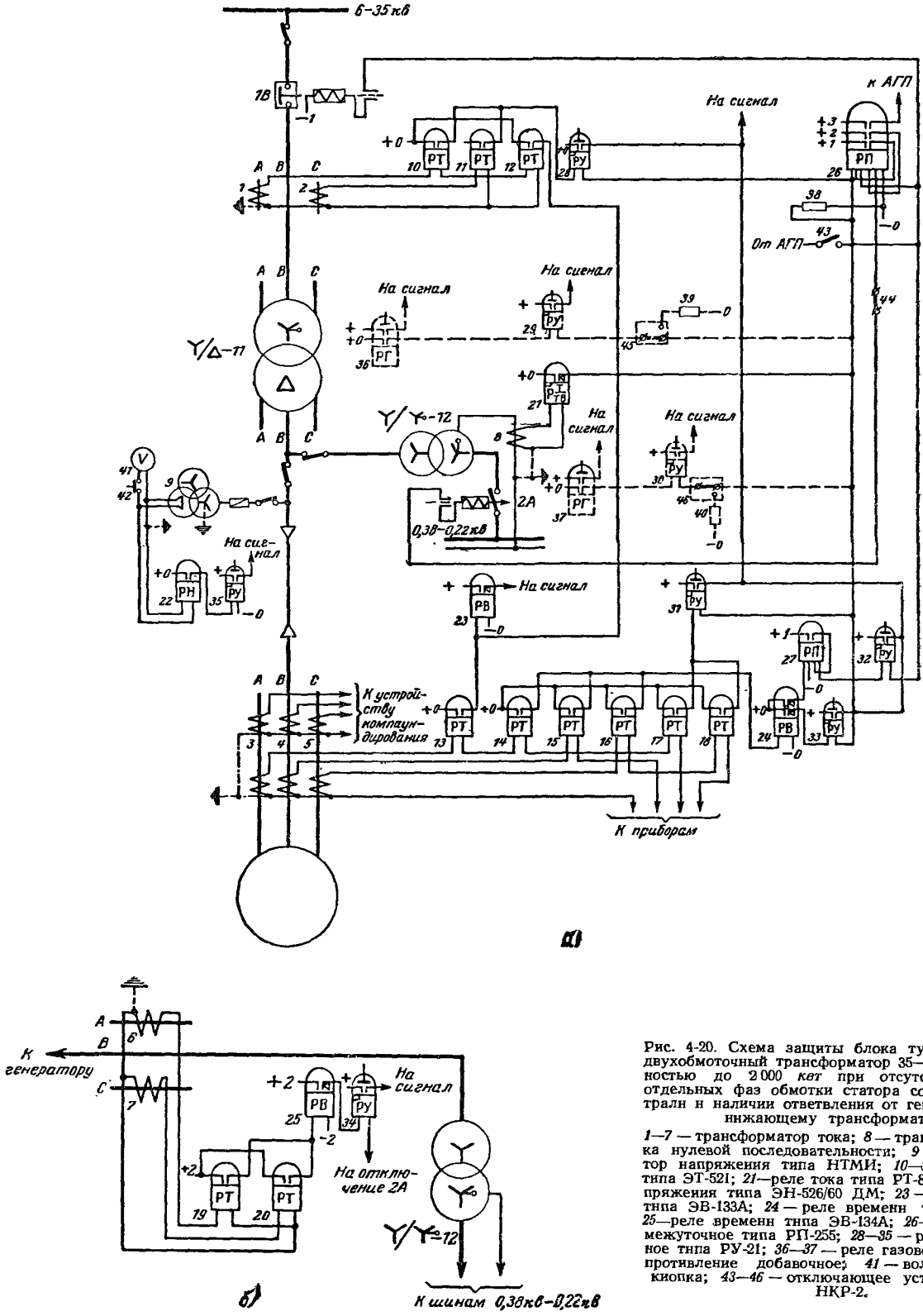


Рис. 4-20. Схема защиты блока турбогенератор—двухобмоточный трансформатор 35—6/6—2 *кв* мощностью до 2 000 *квт* при отсутствии выводов отдельных фаз обмотки статора со стороны нейтрали и наличии ответвления от генератора к понижающему трансформатору.

1—7 — трансформатор тока; *8* — трансформатор тока нулевой последовательности; *9* — трансформатор напряжения типа НТМИ; *10—20* — реле тока типа ЭТ-521; *21*—реле тока типа РТ-81; *22*—реле напряжения типа ЭН-526/60 ДМ; *23* — реле времени типа ЭВ-133А; *24* — реле времени типа ЭВ-132А; *25*—реле времени типа ЭВ-134А; *26—27*—реле промежуточное типа РП-255; *28—35* — реле указательное типа РУ-21; *36—37* — реле газовое; *38—40* — сопротивление добавочное; *41* — вольтметр; *42* — кнопка; *43—46* — отключающее устройство типа НКР-2.

1. *Защита от многофазных коротких замыканий в обмотках статора (рис. 4-21).*

Продольная дифференциальная защита без выдержки времени. В зону действия защиты входят обмотки статора и их выводы, шины и кабели, соединяющие генератор с распределительным устройством. При наличии на генераторе защиты от замыканий на землю в обмотках статора (как от однофазных, так и двойных к. з.), действующей на отключение, продольная дифференциальная защита выполняется двухфазной (рис. 4-21,*а* и *б*). При отсутствии защиты от замыкания на землю в обмотках статора, действующей на отключение, продольная дифференциальная защита выполняется трехфазной (рис. 4-21,*в*).

Защита осуществляется с реле типа ЭТ-521 (рис. 4-21,*а*) или с реле типа РНТ-562 (рис. 4-21,*б* и *в*).

Защита устанавливается на всех генераторах мощностью свыше 2 000 *квт*, у которых имеются выводы от всех концов обмотки статора.

Как правило, защита выполняется на простых реле типа ЭТ-521. В случае необходимости повышения чувствительности защиты (например, для генераторов с обмотками статора катушечного типа) применяется схема с реле РНТ-562.

Для снижения величины тока небаланса в дифференциальной цепи защиты следует предусматривать выравнивание сопротивления плеч защиты соответствующим подбором сечений кабелей вторичных цепей (это особенно необходимо при выполнении защиты с реле ЭТ-521).

При выполнении защиты на простых реле типа ЭТ-521 (рис. 4-21,*а*) в цепь обмотки реле включается добавочное активное сопротивление порядка 5—10 *ом* для ограничения тока небаланса.

Дифференциальная защита, как правило, выполняется без устройства контроля исправности вторичных цепей трансформаторов тока (схемы рис. 4-21,*а* и *б*). В схеме рис. 4-21,*в* в качестве примера предусмотрена дифференциальная защита с током срабатывания, большим номинального, и устройством контроля исправности вторичных цепей защиты. Эта схема применяется в том случае, когда неселективное отключение генератора при обрыве вторичных цепей защиты и внешнем коротком замыкании приводит к нарушению нормальной работы неповрежденной части системы.

2. *Защита от коротких замыканий между витками одной фазы обмотки статора (рис. 4-22).*

Для генераторов с параллельными ветвями обмотки статора, соединенной в звезду, применяется односистемная поперечная дифференциальная защита (рис. 4-22,*а*).

В целях повышения надежности действия реле тока защиты включается к трансформатору тока через фильтр высших гармоник. Все устройство в целом имеет наименование ЭТ-521/ф.

На рис. 4-22,*б* приведена ранее применявшаяся схема трехсистемной поперечной дифференциальной токовой защиты от коротких замыканий между витками одной фазы. В схеме рис. 4-22,*б* используют реле тока с насыщающимися промежуточными трансформаторами, что повышает надежность защиты.

Для генераторов с соединением обмотки статора в треугольник для защиты от коротких замыканий между витками одной фазы используется токовая защита, включенная на сумму фазных токов. Для повышения надежности защиты в качестве реагирующего органа используется реле типа ЭТ-521/ф (рис. 4-22,*в*).

В целях предотвращения отключения генератора при кратковременных переходящих замыканиях на землю в двух точках цепи возбуждения предусматривается перевод рассматриваемой защиты на действие с выдержкой времени при наличии замыкания на землю в одной точке цепи возбуждения. Возможность неселективного действия защиты возникает в результате того, что в генераторах при двойных замыканиях на землю в обмотке ротора возникает искажение результирующего магнитного потока и появляется разность токов параллельных ветвей обмотки статора.

Зона действия защиты — обмотки статора генератора, исключая выводы.

3. *Защита от замыканий на землю в обмотке статора в одной точке (рис. 4-23).*

Максимальная токовая защита нулевой последовательности. Реле тока включается на трансформатор тока нулевой последовательности, охватывающий три фазы выводов статорной обмотки генератора. Применяются следующие типы трансформаторов тока нулевой последовательности: шинные ТНПШ (рис. 4-23,*а*), кабельные ТНП (рис. 4-23,*б*) и кабельные КРТ-35 (рис. 4-23,*в*). В целях обеспечения требуемой чувствительности в трансформаторах тока ТНПШ и ТНП осуществляется подмагничивание переменным током от цепей трансформатора напряжения. В схемах с этими трансформаторами предусмотрено дополнительное реле тока для защиты генератора от двойных замыканий на землю. С шинными трансформаторами тока типа ТНПШ применяется реле тока типа ЭТД-551/60, с кабельными типа ТНП—реле ЭТ-521/0,2 или ЭТД-551/60; с кабельными трансформаторами тока типа КРТ-35 для обеспечения необходимой чувствительности применяются специальные токовые реле с магнитным усилителем типа МТР-76. В табл. 4-1—4-3 приведены основные технические данные защиты от замыканий на землю, выполненной с трансформаторами тока нулевой последовательности шинного и кабельного типов.

Защита устанавливается в случаях, когда естественный емкостный ток замыкания на землю равен или больше 5 *а*. Схема защиты с шинным трансформатором тока нулевой последовательности типа ТНПШ (рис. 4-23,*а*) является наиболее простой и может применяться при любых схемах соединения генератора с распределительным устройством. Схемы защиты рис. 4-23,*б* и *в* применяются при отсутствии возможности установить трансформатор тока типа ТНПШ; при этом применение трансформаторов тока типа КРТ-35 наиболее целесообразно на реконструируемых объектах, где затруднено сближение кабелей, соединяющих генератор с распределительным устройством в один пучок, что требуется при использовании трансформаторов тока типа ТНП.

Для снижения тока срабатывания защиты по условию отстройки от токов небаланса при внешних повреждениях в защите предусматривается выдержка времени, а для схемы с трансформатором тока ТНПШ—дополнительный вывод защиты из действия при междуфазных коротких замыканиях; выдержка времени защиты принимается порядка 0,5—1 *сек*. Для генераторов с емкостными токами замыкания на землю, обусловленными статорной обмоткой и превышающими 5 *а*, целесообразно установить в нейтрали каждого генератора дугогасящую катушку при условии, что емкостный ток линий сети генераторного напряжения мал (менее 5 *а*); в этом случае можно не предусматривать на генераторах защиту, действующую на отключение, поскольку дугогасящая катушка будет компенсировать ток до величины, меньшей 5 *а*.

Возможны два варианта блокировки защиты при внешних коротких замыканиях:

с использованием реле тока защит от внешних коротких замыканий;

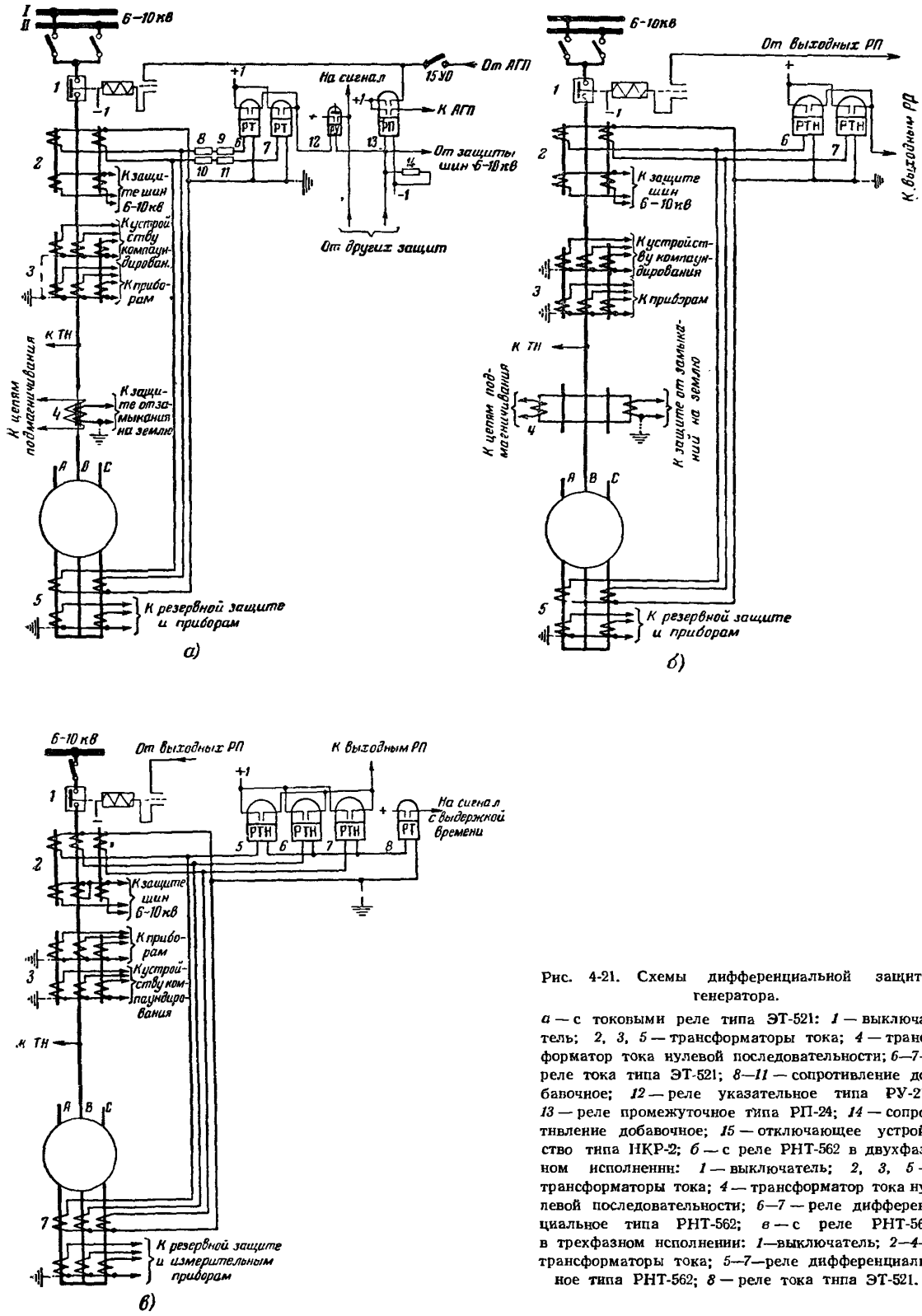


Рис. 4-21. Схемы дифференциальной защиты генератора.

а — с токовыми реле типа ЭТ-521: *1* — выключатель; *2, 3, 5* — трансформаторы тока; *4* — трансформатор тока нулевой последовательности; *6—7* — реле тока типа ЭТ-521; *8—11* — сопротивление добавочное; *12* — реле указательное типа РУ-21; *13* — реле промежуточное типа РП-24; *14* — сопротивление добавочное; *15* — отключающее устройство типа НКР-2; *б* — с реле РНТ-562 в двухфазном исполнении: *1* — выключатель; *2, 3, 5* — трансформаторы тока; *4* — трансформатор тока нулевой последовательности; *6—7* — реле дифференциальное типа РНТ-562; *в* — с реле РНТ-562 в трехфазном исполнении: *1*—выключатель; *2—4*— трансформаторы тока; *5—7*—реле дифференциальное типа РНТ-562; *8* — реле тока типа ЭТ-521.

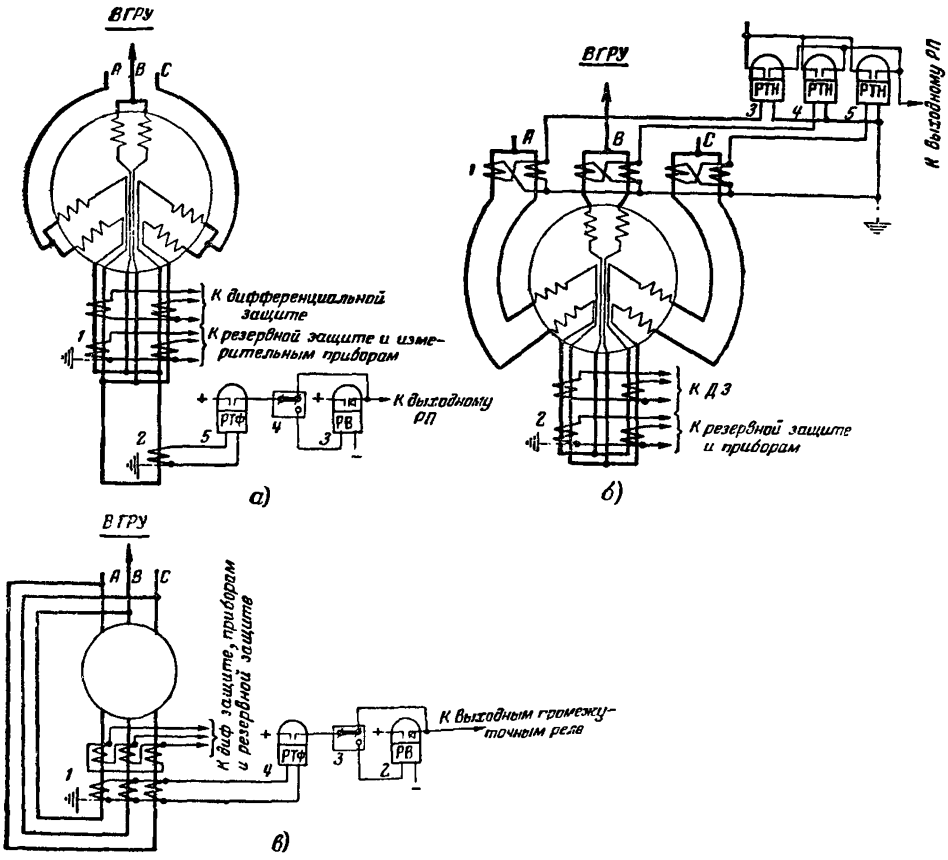


Рис. 4-22. Схемы защиты от витковых замыканий.

а — с реле ЭТ-521/Ф для генераторов со статорной обмоткой, соединенной в звезду: *1—2* — трансформаторы тока; *3* — реле времени типа ЭВ-124А; *4* — отключающее устройство типа НКР-2; *5* — реле тока со встроенным фильтром высших гармоник типа ЭТ-521/Ф; *б* — с реле РНТ-562: *1—2* — трансформаторы тока; *3—5* — реле дифференциальное типа РНТ-562; *в* — с реле ЭТ-521/Ф для генераторов со статорной обмоткой, соединенной в треугольник: *1* — трансформатор тока; *2* — реле времени типа ЭВ-124А; *3* — отключающее устройство типа НКР-2; *4* — реле тока со встроенным фильтром высших гармоник типа ЭТ-521/Ф.

с использованием отдельного реле, приключенного к специальной блокировочной обмотке, помещенной на магнитопроводах трансформатора тока нулевой последовательности. Последним способом пользуются при отсутствии в защите от внешних коротких замыканий реле тока.

Зона действия защиты — обмотка статора генератора. Трансформаторы тока устанавливаются непосредственно у выводов генератора для исключения из зоны действия защиты токопроводов и кабелей, соединяющих генератор со сборными шинами.

4. Защита от сверхтоков при сквозных коротких замыканиях (рис. 4-24).

Максимальная токовая защита с пусковыми органами напряжения (рис. 4-24,а и б) и токовая защита обратной последовательности (рис. 4-24,в).

Максимальная токовая защита выполнена на реле тока типа ЭТ-521, включенных на полные токи трех фаз; пуск от реле напряжения приведен в двух вариантах:

с тремя реле напряжения ЭН-529, включенными на междуфазные напряжения (рис. 4-24,*а*);

с одним реле напряжения ЭН-529, предназначенным для реагирования при симметричных повреждениях и включенным на междуфазные напряжения, и одним реле напряжения обратной последовательности РНФ-1, реагирующим при несимметричных повреждениях (рис. 4-24,*б*).

Токовая защита обратной последовательности выполнена на реле типа РТ-2; дополнительно для отключения симметричных повреждений предусмотрена приставка, состоящая из одного реле ЭТ-521, включенного на ток одной фазы, и реле напряжения ЭН-529, включенного на одно из междуфазных напряжений.

Защита по обоим вариантам выполняется с двумя ступенями с независимой выдержкой времени.

Защиту с реле тока, включенными на полные токи фаз, как правило, применяют на генераторах сравнительно малой мощности, не превышающей 6 000 *квт*, принимая во внимание ее относительную простоту и возможность обслуживания персоналом средней квалификации. Токовая защита обратной последовательности рекомендуется к применению на всех генераторах, на-

Основные технические данные защиты от замыкания на землю,

Данные

Тип трансформатора тока	Номинальное напряжение, *кв*	Номинальный ток, *ка*	Ток 10-секундной устойчивости, *ка*	Наибольший ударный ток к. з., *ка*	Цепь подмагничивания		Сопротивление намагничивания, приведенное к первичной цепи, $Z_{э.\,нам.\,п.}$, *ом*	Сопротивление намагничивания, приведенное к вторичной цепи, $Z_{э.\,нам.\,в.}$, *ом*	Э. д. с. небаланса во вторичной цепи, *мв*	
					Номинальное напряжение, *в*	Потребляемая мощность, *ва*			от подмагничивания $E_{нб.\,подм.}$	от несимметричного расположения токопроводов (при номинальном токе) $H_{нб.нес}$ (н.р)
ТНПШ-1	6,3 10,5 15,75	1,75	24	165	110	20	0,0066	10	100	60
ТНПШ-2	6,3 10,5 15,75	3,0	48	165	110	25	0,0066	10	100	85
ТНПШ-3	6,3 10,5 15,75	4,5	72	165	110	30	0,0066	10	100	100

Примечания: 1. Составлено по данным киевского завода „Радиоизмеритель" и ИЭ АН УССР.
2. В настоящее время выпускается трансформатор тока типа ТНПШ-3У на номинальный ток 7,2 *ка*.

* При параллельном соединении обмоток реле.
** При последовательном соединении обмоток реле.

чиная с мощности 6000 *квт*. Для генераторов новых серий, для которых допустимая перегрузка током обратной последовательности крайне невелика, обязательно применение защиты с использованием реле РТ-2.

Защита предназначается для резервирования при многофазных замыканиях осиовной защиты генератора и защит соседних элементов в пределах своей чувствительности, а также для защиты шин при отсутствии специальной защиты.

5. *Схемы защиты цепей возбуждения турбогенераторов от двойных замыканий на землю (рис. 4-25).*

Схема защиты основана на принципе моста постоянного тока, плечи которого составляют сопротивления цепи возбуждения и специально предусмотренного потенциометра.

Предусматривается на станции по одному комплекту на каждые 4 генератора, и подключается к генератору при появлении устойчивого замыкания на землю в одной точке обмотки возбуждения. Для чего в схеме имеются два комплекта рубильников, устанавливаемых на панели защиты цепей возбуждения и на панели генератора и обеспечивающих двойной разрыв цепей, связывающих генераторы между собой.

Схема защиты предусматривает возможность включения на сигнал и на отключение.

Выпускаемый заводом комплект защиты ротора КЗР-1 содержит реле с двумя обмотками, трансформатор тока и дроссель. Трансформатор тока и дроссель предусматриваются для уменьшения влияния переменной составляющей тока в целях предотвращения неправильного действия защиты.

В схеме имеется вольтметр на номинальное напряжение 3 *в* с нулем по середине шкалы, используемый при включении защиты, а также в процессе эксплуатации для контроля точности установки потенциометра и обнаружения замыкания на землю во второй точке цепи возбуждения через большое переходное сопротивление, когда защита может не действовать ввиду недостаточной чувствительности.

При действии защиты на сигнал для предотвращения сгорания обмотки реле тока в схеме предусмотрено промежуточное реле с самоудерживанием, шунтирующее своим контактом обмотки реле тока. Защита на отключение вводится в действие отключающим устройством.

Зона действия защиты — обмотка возбуждения генератора. Защита имеет мертвую зону; в случае, если первое замыкание на землю произошло на одном из колец ротора, защита не действует независимо от местоположения второго замыкания.

6. *Защита от сверхтоков, обусловленных перегрузками (рис. 4-26).*

Максимальная токовая защита, осуществляемая реле тока типа ЭТ-521, реагирующим на полный ток, или реле тока ЭТ-521, включенным на фильтр тока отри-

Таблица 4-1

выполненной с трансформаторами тока нулевой последовательности шинного типа

ТНПШ				Параметры защиты от замыкания на землю				Параметры реле блокировки	
Сечение эквивалентного магнитопровода $F_э$, $см^2$	Средняя длина силовой линии l, $см$	$\frac{F_э}{l}$	Число витков вторичной обмотки $w_в$	Тип реле	Сопротивление $z_р$, $ом$	Ток срабатывания реле, соответствующий минимальной уставке, $I_{с.р.в}$, $а$	Первичный ток срабатывания защиты, определяемый условием чувствительности, $I_{с.з.мин.п}$, $а$	Тип реле	Ориентировочная э. д. с. цепи блокировочной обмотки (при номинальном токе) $E_{бл(н.р)}$, $в$
60	150	0,4	39	ЭТД-551/60	9*	0,03	2,4	ЭТ-523/0,2	0,75
64	160	0,4	39	ЭТД-551/60	9* 36**	0,03 0,015	2,4 3,5	ЭТ-523/0,2	1,25
73,6	184	0,4	39	ЭТД-551/60	9* 36**	0,03 0,015	2,4 3,5	ЭТ-523/0,2	1,25

цательной последовательности. Первая защита устанавливается на всех генераторах и защищает от симметричных перегрузок. Вторая защита устанавливается только тогда, когда на генераторе используется в качестве резервной защиты от сверхтоков к. з. фильтровая защита.

7. Защита от повышения напряжения у гидрогенераторов (рис. 4-26).

Защита максимального напряжения с выдержкой времени, осуществляемая с помощью реле напряжения ЭН-526/200 и реле времени ЭВ-124.

4-4. ЗАЩИТА СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Виды защит синхронных компенсаторов

Для синхронных компенсаторов предусматриваются защиты от следующих видов повреждений и ненормальных режимов работы:

1) многофазных коротких замыканий в обмотке статора; 2) витковых замыканий в обмотке одной фазы статора (у компенсаторов, имеющих выводы параллельных ветвей или с соединением обмотки статора в треугольник); 3) замыканий на землю (корпус) в обмотке одной фазы статора; 4) сверхтоков при перегрузках; 5) понижения напряжения.

Таблица 4-2

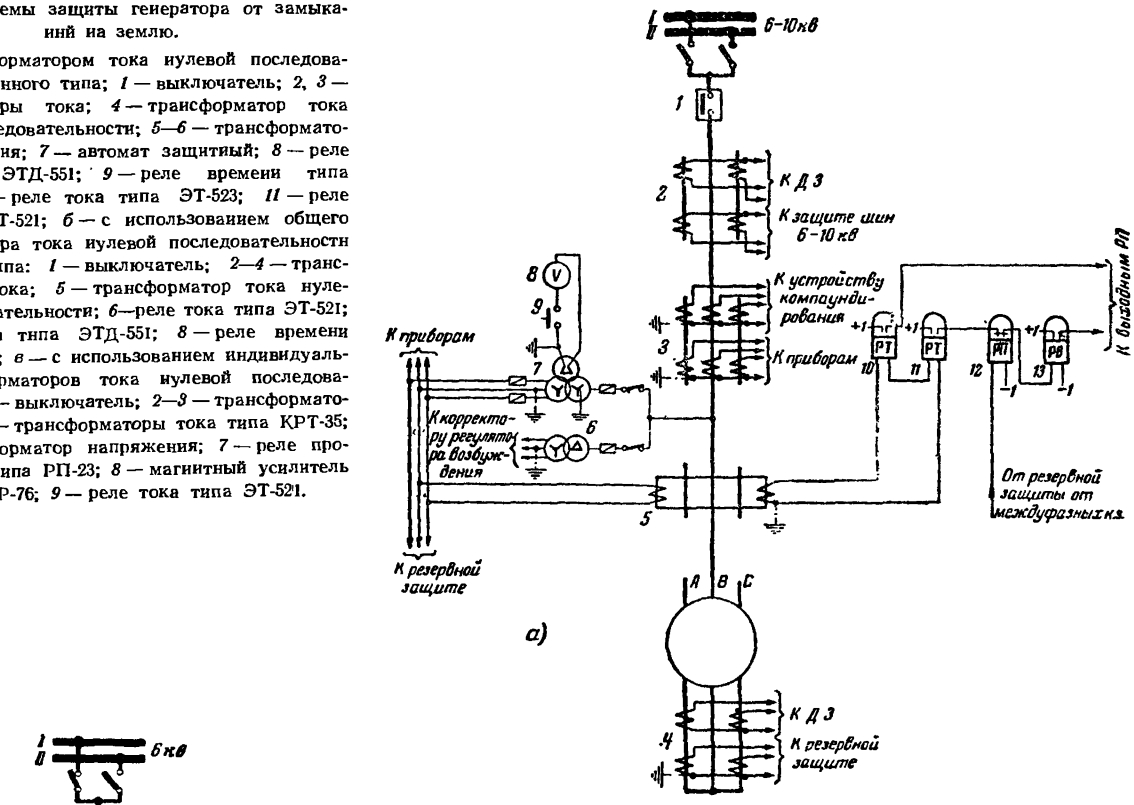
Параметры защиты от двойных замыканий на землю

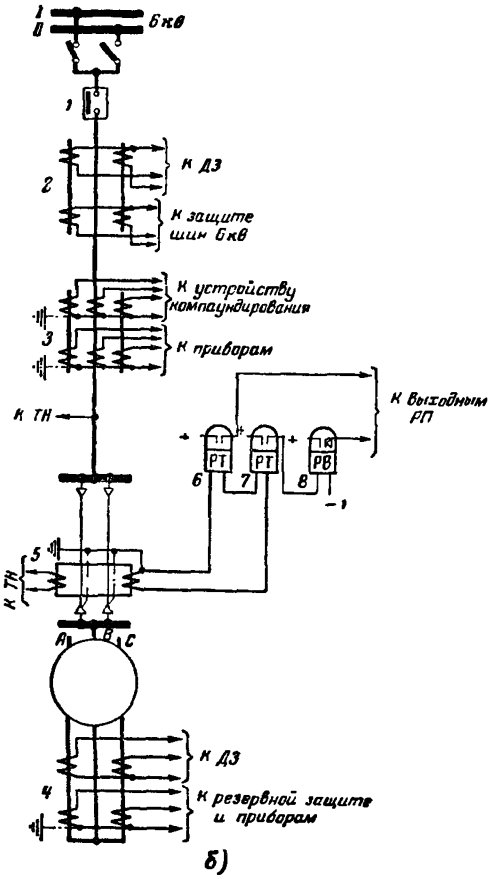
Тип трансформатора тока	Сопротивление реле защиты от однофазных замыканий на землю					
	9 $ом$			36 $ом$		
	Тип реле	Ток срабатывания реле $I_{ср.в}$, $а$	Первичный ток срабатывания защиты $I_{с.з.п}$, $а$	Тип реле	Ток срабатывания реле $I_{с.р.в}$, $а$	Первичный ток срабатывания защиты $I_{с.з.п}$, $а$
ТНПШ-1 ТНПШ-2 ТНПШ-3	ЭТ-521/6	2,3	100—125	ЭТ-521/2	1,2	100—125
ТНП-2 ТНП-4	ЭТ-521/6	4,0	100—125	—	—	—
ТНП-7 ТНП-12 ТНП-16	ЭТ-521/6	3,3	100—125	—	—	—

Примечание. Составлено по данным ИЭ АН УССР.

Рис. 4-23. Схемы защиты генератора от замыканий на землю.

а — с трансформатором тока нулевой последовательности щинного типа; *1* — выключатель; *2, 3* — трансформаторы тока; *4* — трансформатор тока нулевой последовательности; *5—6* — трансформаторы напряжения; *7* — автомат защитный; *8* — реле тока типа ЭТД-551; *9* — реле времени типа ЭВ-124А; *10* — реле тока типа ЭТ-523; *11* — реле тока типа ЭТ-521; *б* — с использованием общего трансформатора тока нулевой последовательности кабельного типа: *1* — выключатель; *2—4* — трансформаторы тока; *5* — трансформатор тока нулевой последовательности; *6*—реле тока типа ЭТ-521; *7* — реле тока типа ЭТД-551; *8* — реле времени типа ЭВ-124А; *в* — с использованием индивидуальных трансформаторов тока нулевой последовательности; *1* — выключатель; *2—3* — трансформаторы тока; *4* — трансформаторы тока типа КРТ-35; *5—6* — трансформатор напряжения; *7* — реле промежуточное типа РП-23; *8* — магнитный усилитель типа МТР-76; *9* — реле тока типа ЭТ-521.





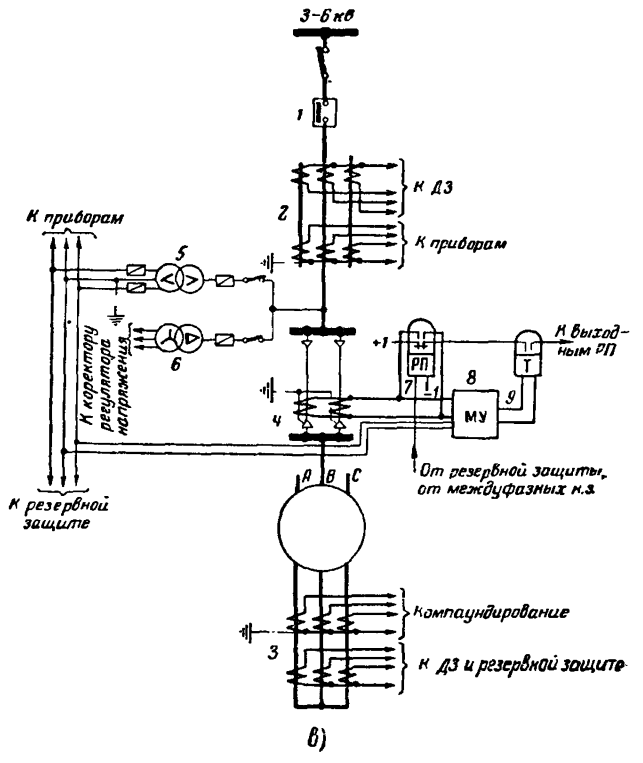


Таблица 4-3

Основные технические данные защиты от замыканий на землю, выполненной с трансформаторами тока нулевой последовательности кабельного типа

Тип трансформатора тока	Данные ТНП											Параметры защиты от замыкания на землю			
	Число охватываемых кабелей	Цепь подмагничивания		Сопротивление намагничивания, приведенное к вторичной цепи z_0, ом	Сопротивление намагничивания, приведенное к вторичной цепи, z_0 нам. в $= z_0$ нам. п $w^2_в$, ом	Э. д. с. небаланса во вторичной цепи, мв		Сечение эквивалентного магнитопровода $F_э$, см²	Средняя длина силовой линии l, см	$\frac{F_э}{l}$	Число витков вторичной обмотки $w_в$	Тип реле	Сопротивление $z_р$, ом	Ток срабатывания реле, соответствующий минимальной уставке, $I_{ср.в}$, а	Первичный ток срабатывания защиты, определяемый условием чувствительности, $I_{с.з.мин.п}$, а
		Номинальное напряжение, в	Потребляемая мощность, ва			от подмагничивания $E_{нб.подм}$	от несимметричного расположения токопроводов $E_{нб.нес(я.р)}$								
ТНП-2	1—2*	110	20	0,025	10	150	17	98	70	1,4	20	ЭТ-521/0,2 ЭТД-551/60	9	0,1 0,03	4,0 1,3
ТНП-4	3—4*	110	45	0,025	10	150	17	143	102	1,4	20	ЭТ-521/0,2 ЭТД-551/60	9	0,1 0,03	4,0 1,3
ТНП-7	5—7*	110	50	0,0137	10	150	14	122	152	0,8	27	ЭТ-521/0,2 ЭТД-551/60	9	0,1 0,03	5,0 1,8
ТНП-12	8—12**	110	70	0,0137	10	150	14	144	180	0,8	27	ЭТ-521/0,2 ЭТД-551/60	9	0,1 0,03	5,0 1,8
ТНП-16	13—16**	110	85	0,0137	10	150	14	158	198	0,8	27	ЭТ-521/0,2 ЭТД-551/60	9	0,1 0,03	5,0 1,8

Примечание. Составлено по данным киевского завода „Радиоизмеритель" и ИЭ АН УССР.

* Наружный диаметр кабеля до 50 *мм*. При $\varnothing > 50$ *мм* необходимо применять ТНП следующего габарита.
** Наружный диаметр кабеля до 60 *мм*.

Защиты по пп. 1—3 действуют на отключение выключателя и АГП через выходные промежуточные реле, имеющие самоудерживание, снимаемое от руки (кнопкой). Защита по п. 4 действует на сигнал. Защита по п. 5 действует на отключение через выходные промежуточные реле без самоудерживания.

Схемы выполнения защит по пп. 1—3 аналогичны соответствующим схемам защит генераторов и поэтому в настоящем разделе не рассматриваются.

Защита от сверхтоков перегрузки осуществляется в отличие от генераторов только от перегрузок симметричных режимов с помощью одного реле тока, реагирующего на полный ток фазы.

Защита минимального напряжения осуществляется на термически устойчивых реле напряжения типа ЭН-526/60ДМ. Выдержка времени защиты необходима для отстройки от внешних коротких замыканий и осуществляется реле времени типа ЭВ-133А.

Защита дана в двух вариантах: с использованием одного реле напряжения (рис. 4-27,*а*) и двух реле напряжения (рис. 4-27,*б*). Последний вариант исключает возможность неселективного действия защиты при неисправностях в цепях напряжения путем последовательного соединения контактов промежуточных реле, управляемых реле напряжения. По первому варианту селективность защиты в указанном случае обеспечивается снятием оперативного тока с реле напряжения блок-контактами автоматов в цепи напряжения.

4-5. ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ И АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

а) Виды защит трансформаторов и автотрансформаторов

На трансформаторах и автотрансформаторах предусматриваются защитные устройства от следующих повреждений:

1) замыканий в обмотках и на выводах трансформатора или автотрансформатора, а также в соединениях его с шинами;

2) замыканий внутри кожуха трансформатора или автотрансформатора:

а) сопровождающихся выделением газа, или от понижения уровня масла;

б) замыканий, связанных с землей;

3) внешних коротких замыканий;

4) перегрузок.

Защита по п. 1 действует на отключение всех выключателей трансформатора или автотрансформатора.

Защита по п. 2 действует на отключение при повреждениях, сопровождающихся бурным газообразованием в баке трансформатора или автотрансформатора, на сигнал при повреждениях, сопровождающихся слабым газообразованием, и при снижении уровня масла ниже определенного уровня.

Защита по п. 3 действует на отключение всех выключателей для двухобмоточных трансформаторов или автотрансформаторов и на отключение выключателей того напряжения, где она установлена для трехобмоточных трансформаторов или автотрансформаторов.

б) Защита от замыканий в обмотках и на выводах

Продольная дифференциальная защита без выдержки времени. В целях экономии трансформаторов тока со стороны 6—10 *кв* и реле дифференциальная защита предусматривается в двухфазном исполнении. Для повышения чувствительности к замыканиям между двумя фазами на сторонах высших напряжений трансформаторов и автотрансформаторов в случаях, когда питание со стороны систем мало или отсутствует, дифференциальная защита может иметь трехрелейное исполнение. Защита осуществляется по трем вариантам:

1) с реле тока без насыщающихся трансформаторов тока типа ЭТ-521 (рис. 4-28,*а*);

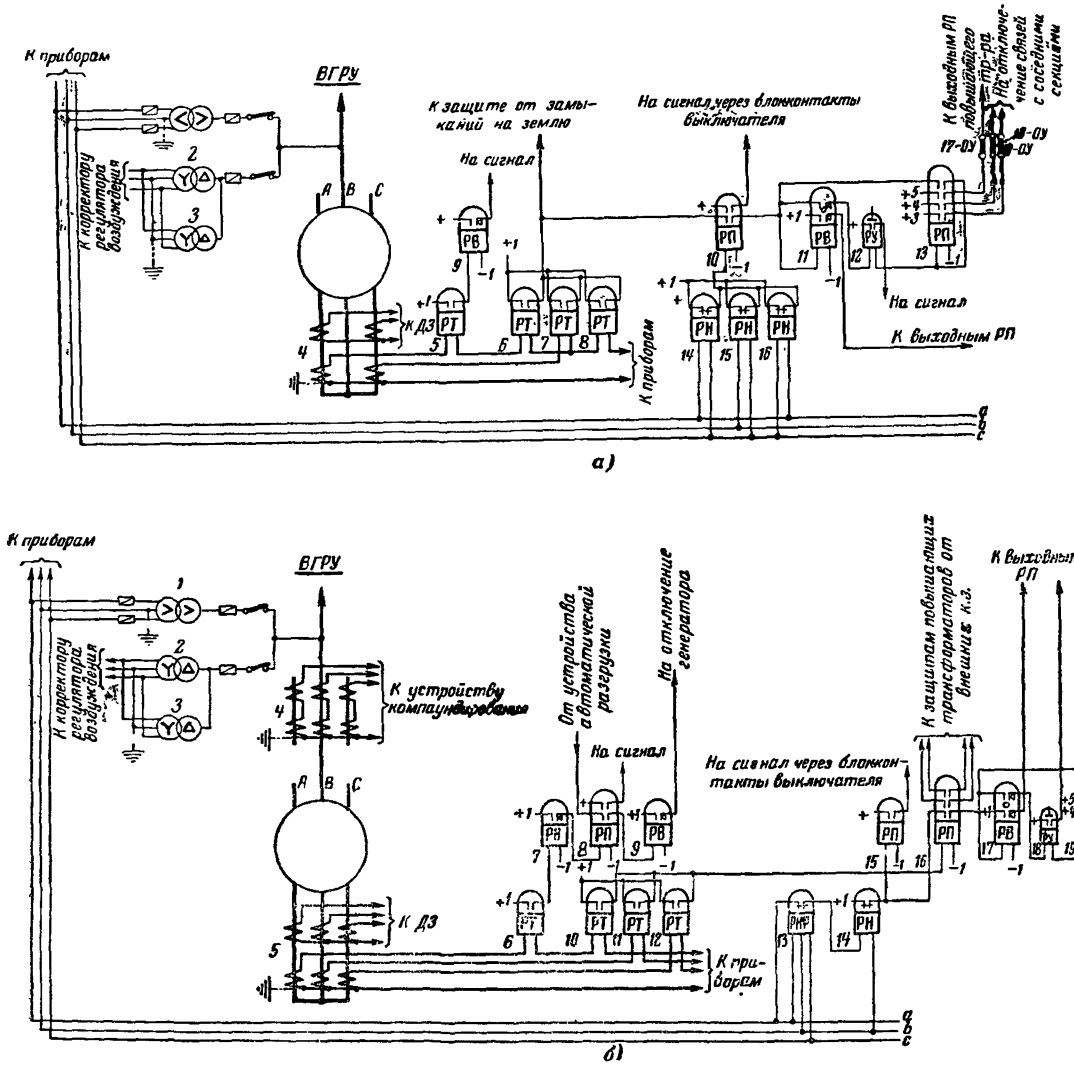


Рис. 4-24. Схемы резервной защиты;

а — с тремя токовыми реле и тремя реле напряжения: *1—3* — трансформатор напряжения: *4* — трансформаторы тока типа ЭВ-132А; *12* — реле сигнальное типа РУ-21; *13* — реле промежуточное типа РП-23; *14—16* — реле напряжения типа ЭН-529; *17* — реле времени типа ЭВ-132А; *8* — реле тока с фильтром тока обратной последовательности типа РТ-2;

б — с реле напряжения обратной последовательности, токовым реле и реле напряжения; *1, 2* — трансформаторы тока; *3* — реле тока типа ЭТ-521; РП-23; *10* — реле времени типа ЭВ-132А; *8* — реле тока с фильтром тока обратной последовательности типа РТ-2;

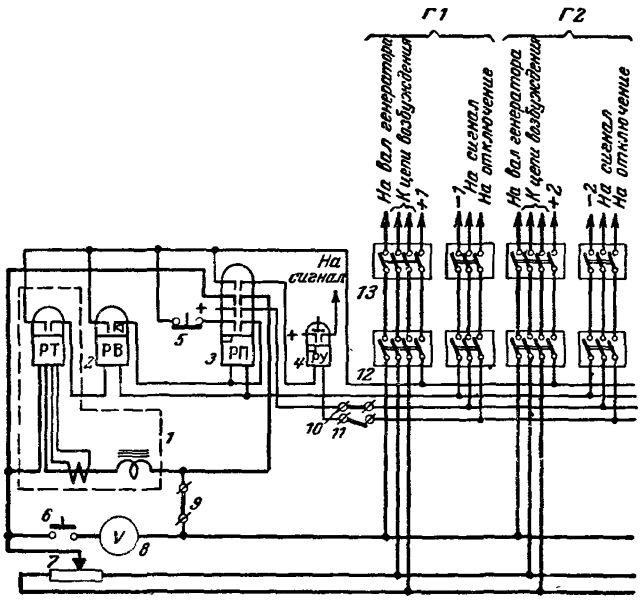


Рис. 4-25. Схема защиты цепей возбуждения турбогенераторов от двойных замыканий на землю.

1 — комплект защиты ротора типа КРЗ-1; *2* — реле времени типа ЭВ-133А; *3* — реле промежуточное типа РП-24; *4* — реле сигнальное типа РУ-21; *5, 6* — кнопки типа КОЗ; *7* — потенциометр; *8* — вольтметр (с пределами шкалы 3—0—3 *в*), *9—13* — устройство отключающее типа НКР-2.

2) с реле тока с насыщающимися трансформаторами типа РНТ-562 (рис. 4-28,*б*);

3) с реле тока с насыщающимися трансформаторами и тормозной характеристикой типов ДЗТ-1 или ДЗТ-3 (рис. 4-28,*в*).

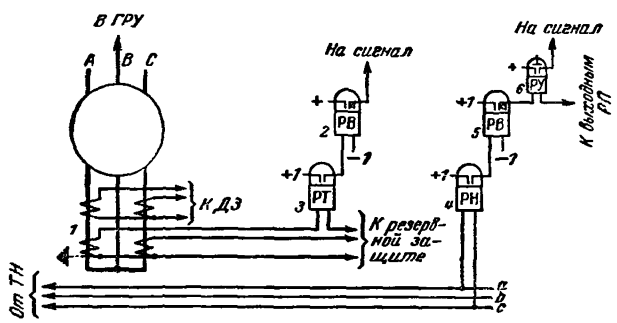


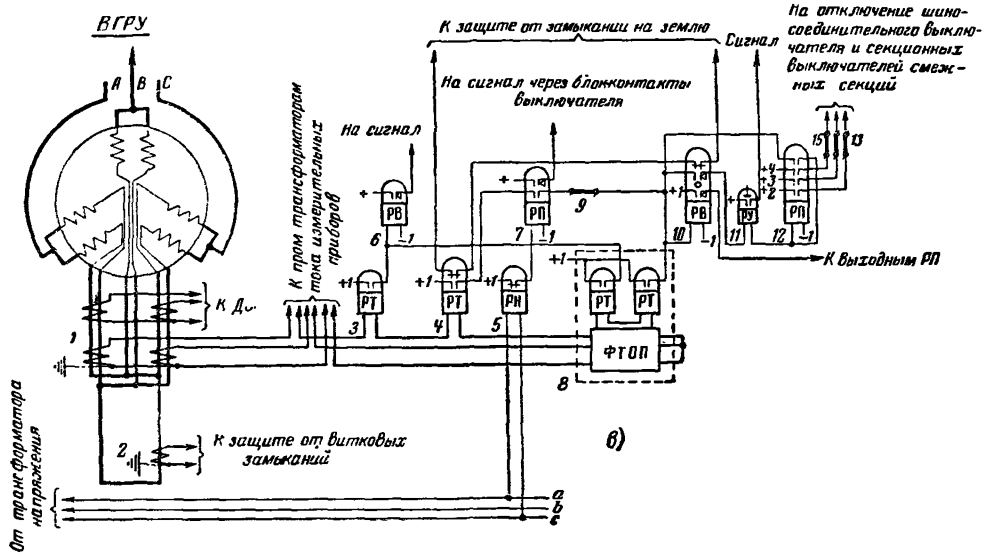
Рис. 4-26. Схема защиты генератора от перегрузки и повышения напряжения.

1 — трансформаторы тока; *2* — реле времени типа ЭВ-133А; *3* — реле тока типа ЭТ-521; *4* — реле напряжения типа ЭН-526; *5* — реле времени типа ЭВ-124А; *6* — реле указательное типа РУ-21.

Во всех случаях, когда обеспечивается достаточная чувствительность защиты ($k_ч \geqslant 2$), применяется схема 4-28,*а* с реле ЭТ-521. Если это условие не удовлетворяется, то применяется схема с реле РНТ-562 (рис. 4-28,*б*).

Защита с реле ДЗТ-1 (рис. 4-28,*в*) предусматривается в случаях, когда вследствие больших токов небаланса в реле при внешних коротких замыканиях защита с реле РНТ-562 не обеспечивает требуемой чувствительности. Для двухобмоточных трансформаторов, приключенных к системе через один выключатель, дифференциальная защита может быть выполнена, как правило, с реле РНТ-562.

Защита с реле ДЗТ-1 обычно применяется для двух- и трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов, имеющих встроенную регулировку напряжения под нагрузкой или оборудованных специальными вольтодобавочными устройствами.



генератора от междуфазных к. з.

5—8 — реле тока типа ЭТ-521; *9* — реле времени типа ЭВ-133А; *10* — реле промежуточное типа РП-23; *11* — реле времени ЭН-529; *17—19* — отключающее устройство типа НКР-2; *б* — с тремя токовыми реле, реле напряжения и фильтр-реле напряжения типа ЭТ-521; *7—9* — реле времени типа ЭВ-133А; *8, 15, 16, 19* — реле промежуточное типа РП-23; *13* — реле напряжения типа ЭВ-132А; *18* — реле указательное типа РУ-21; *20, 21* — отключающее устройство типа НКР-2; *в* — с токовыми реле *4* — реле тока типа ЭТ-523; *5* — реле напряжения типа ЭН-529; *6* — реле времени ЭВ-133А; *7, 12* — реле промежуточное типа *9, 13, 15* — отключающее устройство типа НКР-2.

В отдельных случаях при наличии большого числа выключателей в схеме коммутации данного трансформатора или автотрансформатора (схемы с использованием выключателей линий), когда токи небаланса при сквозных повреждениях достигают значительных величин, используется реле типа ДЗТ-3, имеющее три тормозные обмотки.

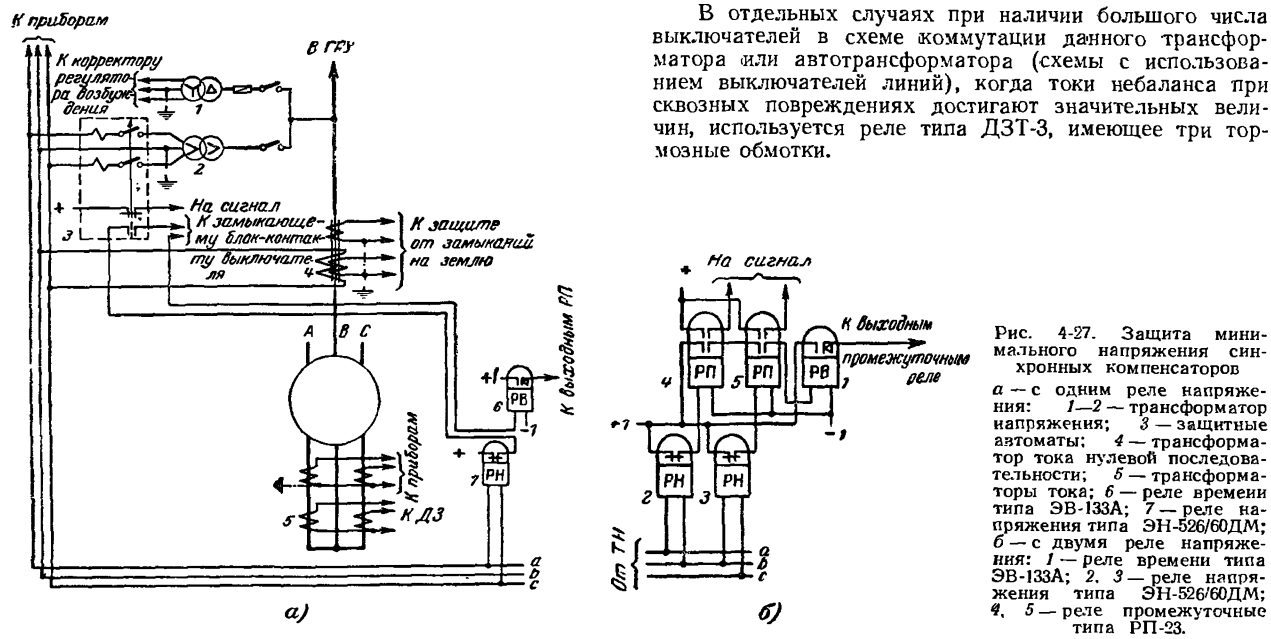


Рис. 4-27. Защита минимального напряжения синхронных компенсаторов

а — с одним реле напряжения: *1—2* — трансформатор напряжения; *3* — защитные автоматы; *4* — трансформатор тока нулевой последовательности; *5* — трансформаторы тока; *6* — реле времени типа ЭВ-133А; *7* — реле напряжения типа ЭН-526/60ДМ; *б* — с двумя реле напряжения: *1* — реле времени типа ЭВ-133А; *2, 3* — реле напряжения типа ЭН-526/60ДМ; *4, 5* — реле промежуточные типа РП-23.

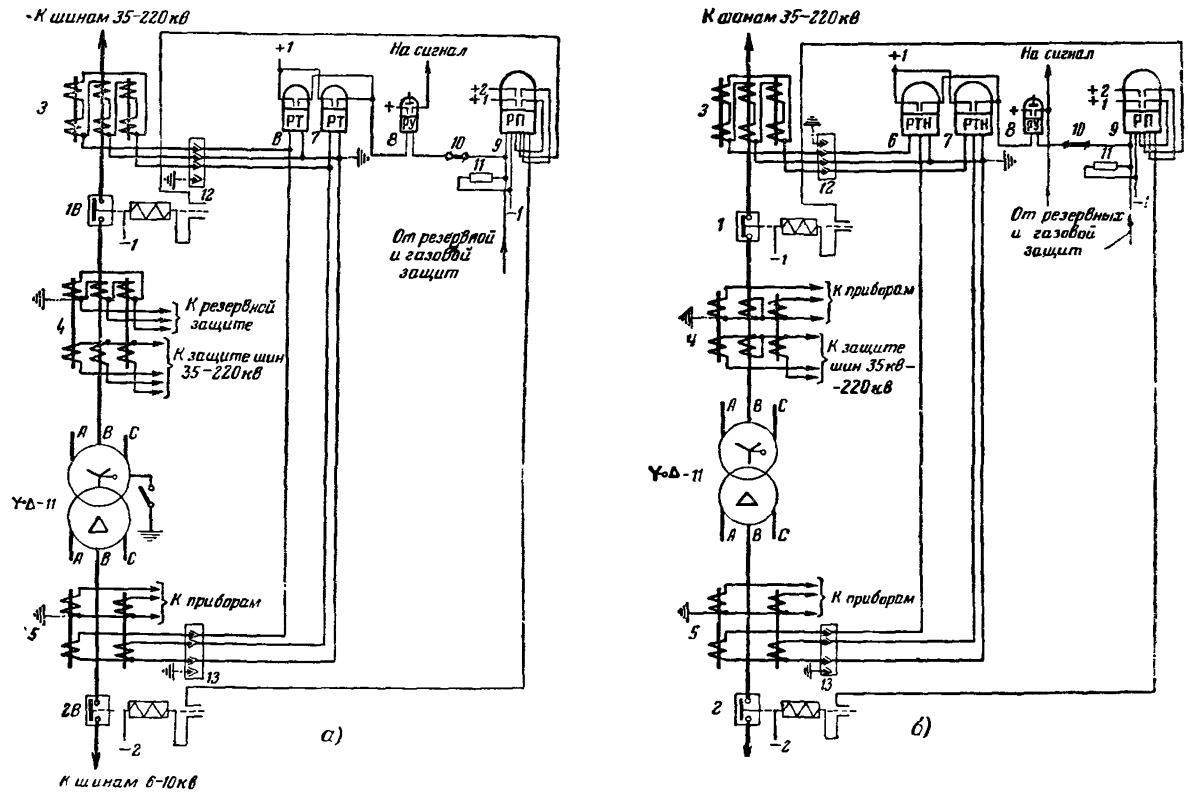


Рис. 4-28. Дифференциальная защита трансформатора.

а — с токовыми реле типа ЭТ-521 (дифференциальная отсечка); *1, 2* — выключатели; *3, 5* — трансформаторы тока; *6, 7* — реле тока типа ЭТ-521; *8* — реле указательное типа РУ-21; *9* — реле промежуточное типа РП-255; *10* — отключающее устройство типа НКР-2; *11* — сопротивление добавочное; *12, 13* — испытательный блок типа БИ-4; *б* — с дифференциальными реле типа РНТ-562: *1, 2* — выключатели; *3—5* — трансформаторы тока; *6, 7* — реле дифференциальное типа РНТ-562; *8* — реле указательное типа РУ-21; *9* — реле промежуточное типа РП-255; *10* — отключающее устройство типа НКР-2; *11* — сопротивление добавочное, *12—13* — испытательный блок типа БИ-4; *в* — с дифференциальными реле, имеющими тормозную характеристику типа ДЗТ-1: *1—3* — выключатели; *4—8* — трансформаторы тока; *9, 10* — реле дифференциальное с торможением типа ДЗТ-1; *11* — реле промежуточное типа РП-255; *12* — реле сигнальное типа РУ-21; *13* — отключающее устройство типа НКР-2; *14* — сопротивление добавочное; *15—17* — испытательный блок типа БИ-4.

в) Защита от повреждений внутри кожуха трансформатора

1. *Газовая защита* (рис. 4-29,*а*) действует на сигнал при слабом газообразовании и на отключение при сильном газообразовании. Защита действует на выходное промежуточное реле типа РП-255, имеющее удерживающие обмотки, позволяющие обеспечить надежный импульс на отключение выключателей трансформатора или автотрансформатора даже при кратковременном замыкании контактов газового реле.

Газовая защита предусматривается на всех трансформаторах и автотрансформаторах мощностью 7,5 *Мва* и выше.

Защита выполнена таким образом, что имеется возможность перевода ее для действия как на сигнал, так и на отключение.

2. *Дифференциальная защита нулевой последовательности (рис. 4-29,б)*, включающая в зону действия обмотки всех напряжений трансформатора.

Защита применяется в качестве основной защиты для групп однофазных трансформаторов, в которых исключены междуфазные повреждения без связи с землей.

Защита может быть применена при наличии встроенных трансформаторов тока в фазные обмотки всех напряжений трансформатора; для выравнивания вторичных токов защиты используются обмотки промежуточного трансформатора реле типа РНТ-563.

3. *Дифференциальная токовая защита нулевой последовательности обмотки высшего напряжения трансформатора* (рис. 4-29,*в*) применяется в качестве дополнительной защиты в случае недостаточной чувствительности основной защиты к повреждениям, связанным с землей.

Все трансформаторы тока (*1ТТ* и *2ТТ*) целесообразно иметь с одинаковыми коэффициентами трансформации. В том случае, если коэффициенты трансформации упомянутых трансформаторов тока будут различны, необходимо применить выравнивание вторичных токов в цепях защиты с помощью соответствующего подбора витков на промежуточных трансформаторах реле РНТ-562 или РНТ-563.

4. *Токовая защита от замыканий на корпус (бак) трансформатора* предусматривается на трансформаторах, работающих в сетях с большими токами замыкания на землю в качестве дополнительной при недостаточной чувствительности основной защиты к замыканиям, связанным с землей. Защита может быть использована в качестве основной для трансформаторов, устанавливаемых на подстанциях с упрощенной схемой коммутации: без выключателей со стороны высшего напряжения, с короткозамыкателями и отделителями.

Арматура фундамента трансформатора, как и сам бак трансформатора, не должна иметь электрической связи с заземляющим контуром подстанции. Если на баке трансформатора нет двигателей (обдувки, циркуляции масла) напряжением 380 *в*, питающихся от сети с глухозаземленной нейтралью, защита выполняется без всяких блокирующих устройств (рис. 4-29,*г*). В том случае, если на баке трансформатора установлены двигатели напряжением 380 *в*, работающие в сети с глухозаземленной нейтралью, возникает возможность неправильного действия корпусной (баковой) защиты при повреждениях в этих двигателях, связанных с железом самого двигателя. Это вызвано тем, что ток повреждения протекает не только по зануляющему проводу, но и через заземляющую шину корпусной (баковой) защиты.

Отстройка защиты от рассматриваемого тока повреждения приводит к недопустимому загрублению защиты. Как показал опыт эксплуатации аналогичных защит за рубежом, изоляция двигателя от корпуса (бака) трансформатора малоэффективна. На рис. 4-29,*д* и *е* приведены два возможных варианта выполнения корпусной (баковой) защиты, не действующей при повреждениях в двигателях, расположенных на баке трансформатора. Схема защиты на рис. 4-29,*д* содержит блокировку, снимающую с защиты оперативный ток при всех повреждениях в двигателе, связанных с протеканием тока по заземляющей шине корпусной (баковой) защиты. Для этой цели используются трансформатор тока нулевой последовательности типов ТЗ, ТЗР или ТЗЛ, устанавливаемый на кабеле, питающем вспомогательные двигатели трансформатора, и токовое реле типа ЭТ-523. В качестве второго варианта схемы (рис. 4-29,*е*) корпусной (баковой) защиты, не действующей при повреждениях во вспомогательных двигателях,

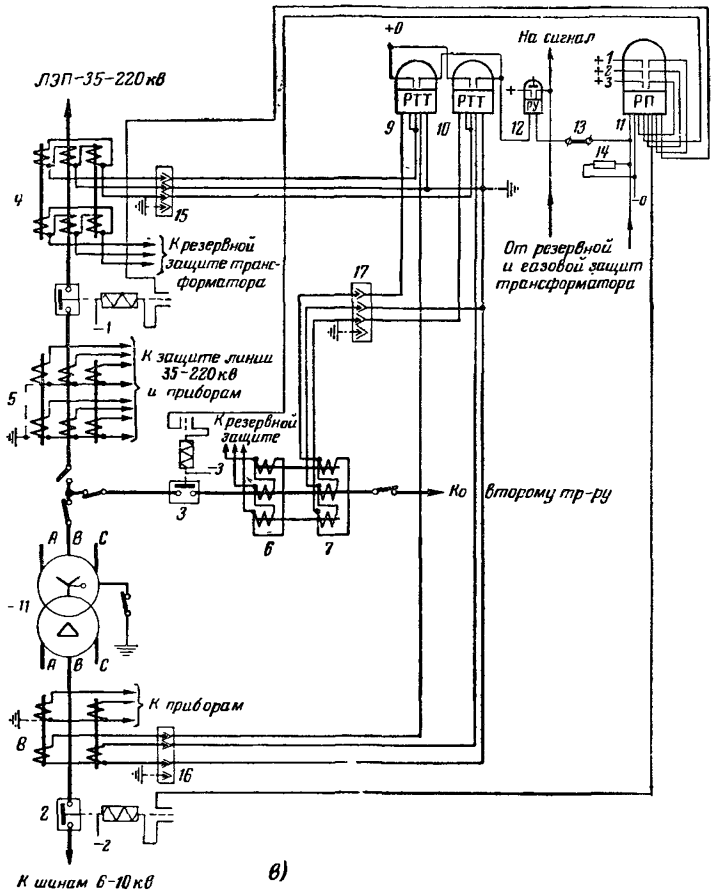


Рис. 4-28.

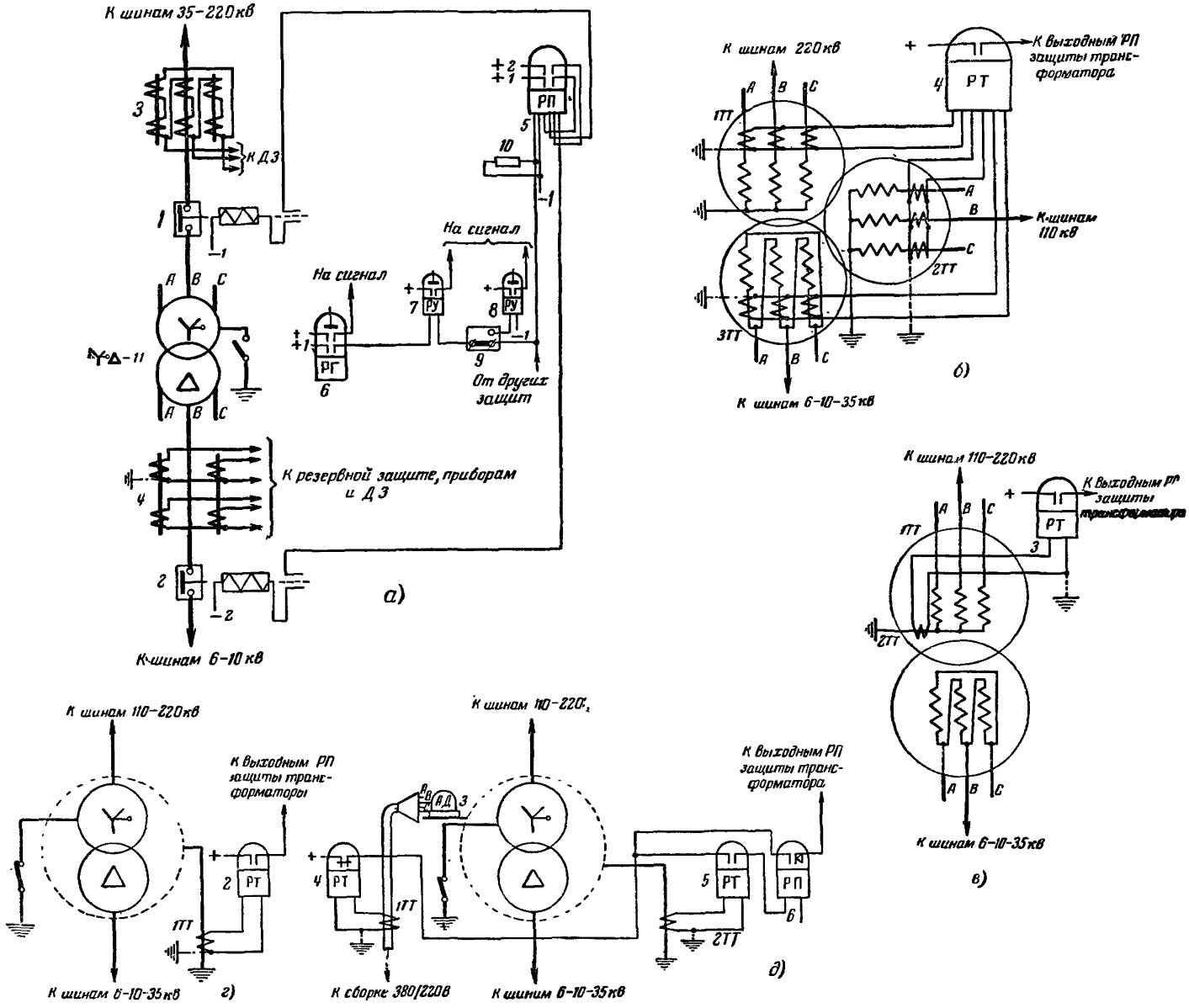


Рис. 4-29. Схемы защиты трансформаторов (автотрансформаторов) от повреждений внутри кожуха.

а — газовая защита от всех видов повреждений внутри кожуха трансформатора и от понижений уровня масла в нем: *1—2* — выключатели; *3, 4* — трансформаторы тока; *5* — реле промежуточное типа РП-255; *6* — реле газовое типа ПГ-22; *7—8* — реле сигнальное типа РУ-21; *9* — переключающее устройство типа НКР-2; *10* — сопротивление добавочное; *б* — схема дифференциальной токовой защиты нулевой последовательности трансформатора: *1ТТ, 2ТТ* и *3ТТ* — трансформаторы тока; *4* — реле тока типа РНТ-563; *в* — схема дифференциальной токовой защиты нулевой последовательности обмотки высшего напряжения трансформатора: *1ТТ, 2ТТ* — трансформаторы тока; *3* — реле тока типа РНТ-562 или РНТ-563; *г* — схема токовой защиты трансформатора от замыканий на корпус: *1ТТ* — трансформатор тока; *2* — реле тока ЭТ-521; *д* — схема токовой защиты трансформатора от замыканий на корпус и от замыканий на корпус с блокировкой от защиты нулевой последовательности в сети 380/220 *в*: *1ТТ, 2ТТ* — трансформаторы тока; *3-АД* — асинхронный двигатель 380 *в*; *4* — реле тока типа ЭТ-523; *5* — реле тока типа ЭТ-521; *6* — реле промежуточное типа РП-251; *е* — схема токовой защиты трансформатора от замыкания на корпус с пуском от резервной защиты нулевой последовательности трансформатора: *1ТТ, 2ТТ* — трансформаторы тока; *3, 4* — реле тока типа ЭТ-521.

приведена схема с пусковым токовым органом, реагирующим на ток в заземленной нейтрали трансформатора.

В качестве такого реле может быть использовано реле резервной защиты трансформатора от замыканий на землю. Недостатком последнего варианта является связь двух схем защиты трансформатора, что нежелательно по условию резервирования защит: при отказе в действии токового реле резервной защиты не будет работать также и корпусная (баковая) защита.

Преимущество схемы — сравнительная простота, обусловленная небольшим количеством релейного оборудования.

г) Защита от сверхтоков, обусловленных внешними к. з.

1) *Максимальная токовая защита с двумя пусковыми органами напряжения:* с реле, реагирующим на напряжение отрицательной последовательности, и с реле, включенным на линейное напряжение (*рис. 4-30,а*).

2) *Токовая защита отрицательной последовательности* и одно реле тока и реле напряжения, использующие полные величины токов и напряжений (4-30,б).

Защита предназначена для резервирования основной защиты при многофазных замыканиях для двухобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов и защит соседних элементов в пределах своей чувствительности, а также для защиты шин при отсутствии специальной защиты шин.

В случаях, когда максимальные рабочие токи, проходящие через трансформатор или автотрансформатор (с учетом токов самозапуска двигателей), не превышают номинального тока трансформатора или автотрансформатора (для трехобмоточного трансформатора указанное соотношение проверяется по мощности соответствующей обмотки), может быть использована максимальная токовая защита без пуска минимального напряжения. На трехобмоточных трансформаторах при наличии питания со стороны трех напряжений устанавливается по одному комплекту защиты на каждом напряжении, при отсутствии питания с одной из сторон рекомендуется установка двух комплектов резервной защиты с выполнением одного из комплектов с двумя ступенями выдержек времени.

Для трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов один из комплектов защиты выполняется направленным.

д) Защита от замыканий на землю

1. *Максимальная токовая защита нулевой последовательности, устанавливаемая на напряжении 110 кв и выше (рис. 4-30,в),* предназначается для резервирования основной защиты при замыканиях, связанных с землей, как в самих трансформаторах и автотрансформаторах, так и на соседних элементах в пределах своей чувствительности, а также для защиты шин при отсутствии специальной защиты шин.

Защита предусматривается на сторонах, примыкающих к сети с большим током замыкания на землю, при наличии питания с других сторон трансформатора или автотрансформатора.

Для защиты используются трансформаторы тока, встроенные в выводы обмоток соответствующего напряжения трансформатора или автотрансформатора.

2. *Максимальная токовая защита нулевой последовательности, устанавливаемая на напряжении 0,4 кв (рис. 4-30,г и д),* предназначается для отключения однофазных к. з. как в обмотке низшего напряжения самого трансформатора, так и на сборных шинах 0,4 *кв*, а также для резервирования защит элементов, присоединенных к шинам 0,4 *кв* при однофазных повреждениях.

Защита предусматривается на трансформаторах, работающих со стороны 0,4 *кв* с глухозаземленной нейтралью.

При использовании для защиты элементов на низшем напряжении трансформатора плавких вставок на большие номинальные токи (начиная с 300 *а* и выше), как правило, необходимо применять для защиты токовые реле, имеющие зависимые характеристики типа ИТ-80 или РТ-80.

Это вызвано необходимостью согласования рассматриваемой защиты с токо-временными характеристиками плавких вставок (рис. 4-30,*г*). При использовании для защиты элементов 0,4 *кв* автоматов и плавких вставок на номинальные токи ниже 300 *а*, как правило, необходимое согласование достигается с помощью токового реле типа ЭТ-520 и реле времени типа ЭВ-130 (рис. 4-30,*д*).

е) Защита от сверхтоков, обусловленных перегрузками

Максимальная токовая защита (рис. 4-31), осуществляемая реле тока типа ЭТ-521. На двухобмоточных трансформаторах устанавливается один комплект защиты. На трехобмоточных трансформаторах защита предусматривается со стороны каждого напряжения. На понижающих автотрансформаторах защита предусматривается со стороны высшего напряжения и в общей нейтрали обмоток высшего и среднего напряжений. Последняя защита является специфической защитой автотрансформаторов. На повышающих автотрансформаторах защита выполняется с двумя комплектами токовых реле, включенных на полные фазные токи. Сигнал подается при исчезновении тока в общей нейтрали и наличии нагрузки со стороны высшего напряжения. Такой режим работы автотрансформатора опасен по условию увеличения потоков рассеяния, приводящих к перегреву отдельных частей магнитопровода.

4-6. ЗАЩИТА ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Вольтодобавочные устройства в настоящее время выполняются одиобаковыми. Возбуждающая обмотка подключается к шинам со стороны низшего напряжения трансформатора, автотрансформатора) и выполняется с неизменным числом витков. Последовательная обмотка, имеющая регулируемое число витков, включается в нейтраль трансформатора или в общую нейтраль главного автотрансформатора. Выключатели между вольтодобавочным устройством и главным трансформатором (автотрансформатором) не устанавливаются, поэтому защитные устройства действуют на выходные промежуточные реле, общие для всех защит.

Продольная дифференциальная защита без выдержки времени последовательной обмотки осуществляется с помощью реле типа РНТ-562 или РНТ-563 в зависимости от значений вторичных номинальных токов трансформаторов тока, используемых для защиты. (рис. 4-32).

Для защиты используются встроенные трансформаторы тока:

один комплект—со стороны нейтрали вольтодобавочного трансформатора;

другой комплект — со стороны нейтрали той обмотки, куда присоединяется вольтодобавочный трансформатор.

Таким образом, в зону защиты входят цепи, не имеющие между собой магнитных связей, но объединенные электрически. Поэтому защита не должна отстраиваться от ударных значений тока намагничивания вольтодобавочного трансформатора.

Защита устанавливается на всех вольтодобавочных устройствах.

Защита возбуждающей обмотки выполняется в двух вариантах:

1. *Максимальная токовая защита с тормозной характеристикой с использованием реле типа* МЗТ-1 (рис. 4-33,*а*). Рабочая обмотка промежуточного трансформатора реле МЗТ-1 включается к трансформаторам тока, находящимся в цепи присоединения возбуждающей обмотки вольтодобавочного устройства. Тормозная

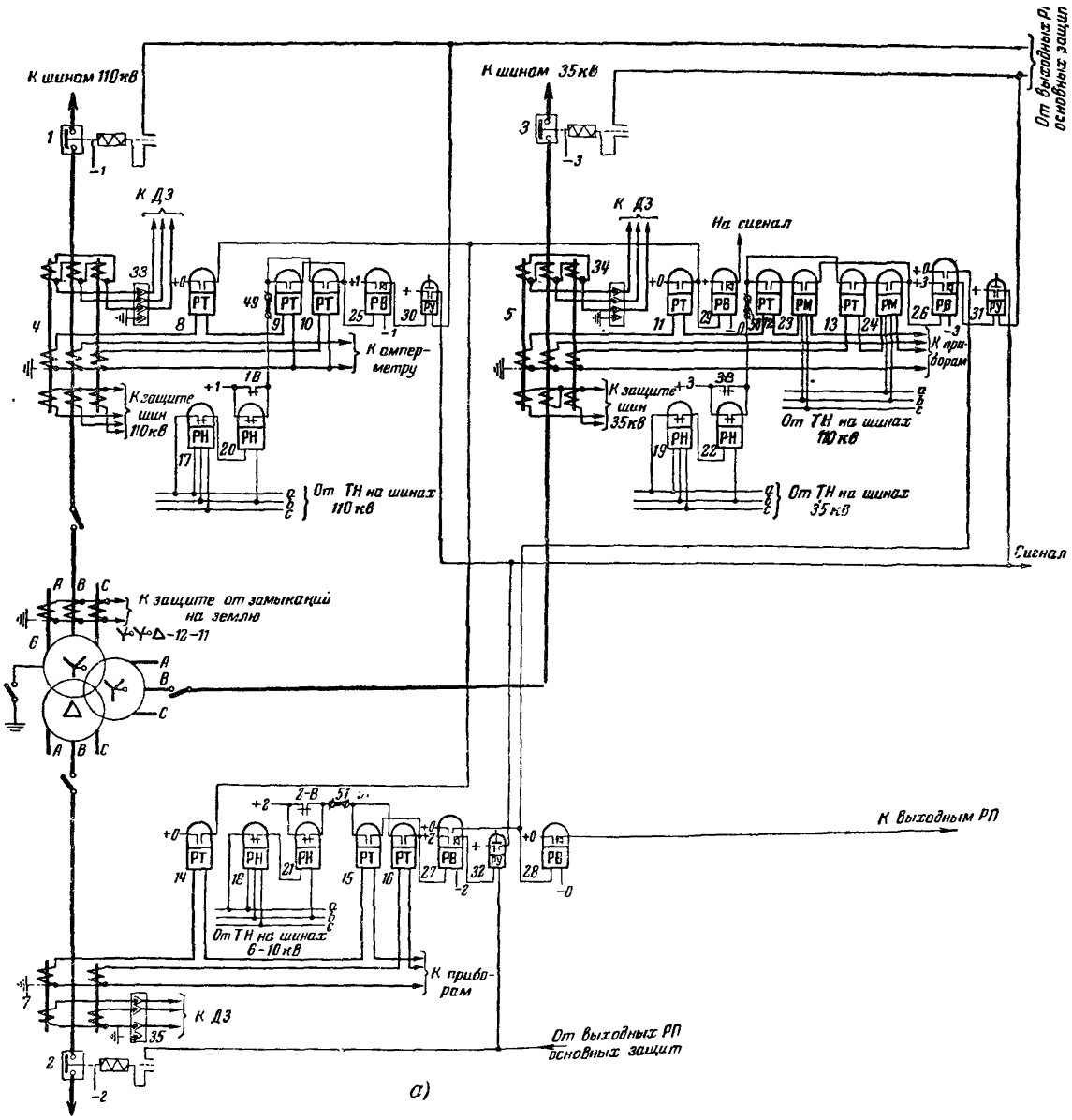


Рис. 4-30. Схемы резервных за

а—схема резервной защиты от междуфазных к. з. трехобмоточного трансформатора при наличии питания со стороны всех трех напря фильтром обратной последовательности типа РНФ-1; *20—22*—реле напряжения типа ЭН-529; *23—24*—реле мощности типа ИМБ-171; блок типа БИ; *б*—схема резервной защиты от междуфазных к. з. двухобмоточного трансформатора. *1—2*—выключатели; *3—5*—транс промежуточное типа РП-23; *9*—реле напряжения типа ЭН-529; *10*—реле времени типа ЭВ-134А; *в*—схема резервной защиты автотранс типа ЭТ-521; *9—10*—реле времени типа ЭВ-132А; *11, 12*—реле времени типа ЭВ-134А; *13, 14*—реле промежуточное типа РП-131; *15—18*— звезда-звезда с заземленной нейтралью со стороны низшего напряжения) (вариант I): *1*—трансформатор тока; *2*—реле тока типа да с заземленной нейтралью со стороны низшего напряжения) (вариант II): *1*—трансформатор тока; *2*—реле тока типа ЭТ-521; *3*—реле

обмотка включается к трансформаторам тока в цепи регулируемого напряжения. Для этой цепи могут использоваться трансформаторы тока, встроенные в нейтраль главного трансформатора или автотрансформатора. Тормозная характеристика защиты обеспечивает ее селективность при сквозных повреждениях при работе вольтодобавочного устройства на любом ответвлении.

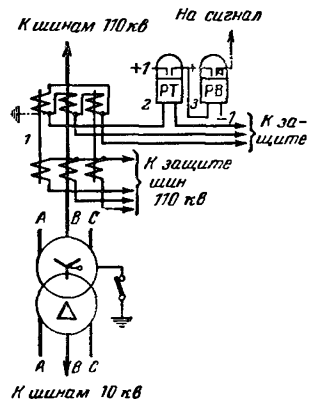
2. Дифференциальная защита с использованием реле типа РНТ-562 (рис. 4-33,б). Защита присоединяется к трансформаторам тока, встроенным внутрь бака вольтодобавочного трансформатора в цепь возбуждающей обмотки до соединения ее в треугольник, а также к трансформаторам тока в цепи ошиновки того напряжения, где включена эта обмотка, и к трансформаторам тока, встроенным в главный трансформатор (автотрансформатор), со стороны низшего напряжения этого аппарата.

Защита по первому варианту, реагирующая только на повреждения в вольтодобавочном трансформаторе, действует на отключение главного трансформатора (автотрансформатора) через общие выходные промежуточные реле защиты без выдержки времени. Защита по второму варианту в том случае, если она не охватывает аппаратов, присоединенных к шинам низшего напряжения трансформатора или автотрансформатора, выполняется также без выдержки времени (рис. 4-33,б).

Возможно выполнение защиты с включением в ее

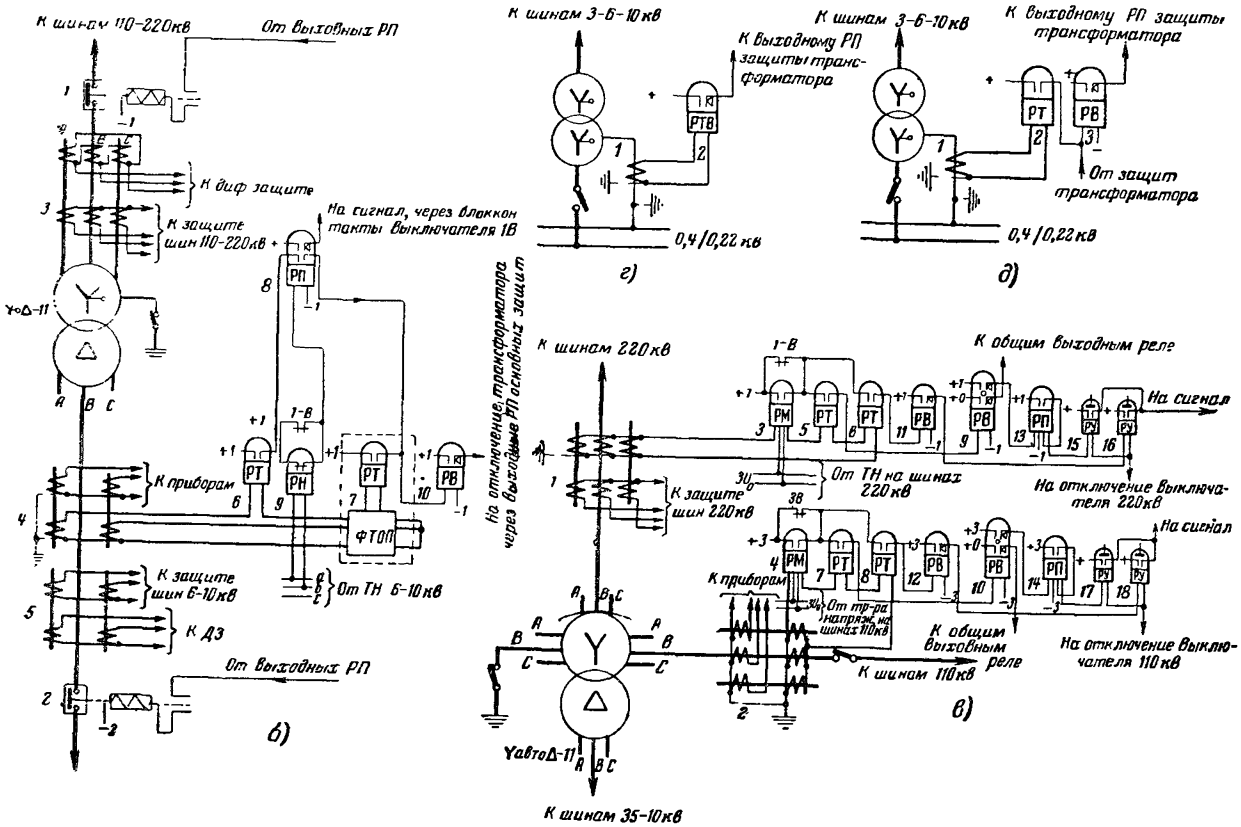
Рис. 4-31. Схема защиты трансформатора от перегрузки.

1 — трансформатор тока; *2*— реле тока типа ЭТ-521; *3* — реле времени типа ЭВ-133А.



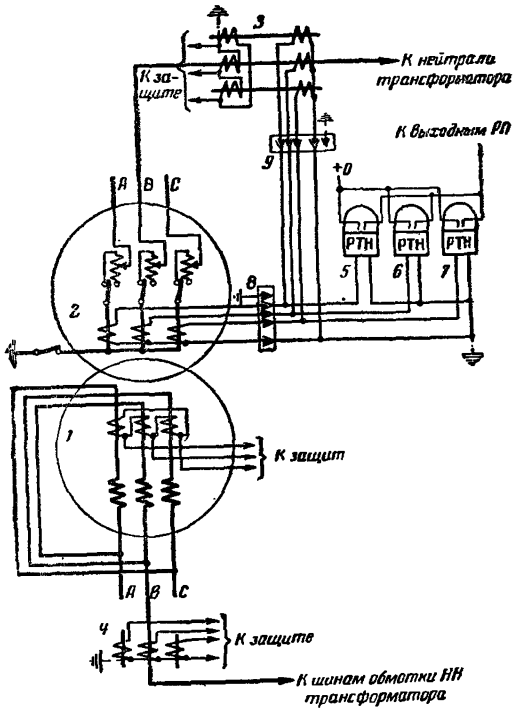
зону каких-либо аппаратов (синхронного компенсатора или двигателя). В этом случае защита выполняется с двумя выдержками времени (рис. 4-33,в):

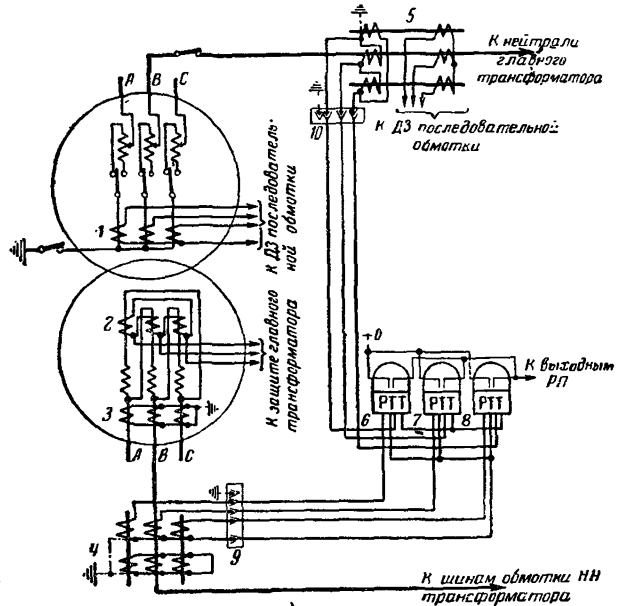
с первой выдержкой времени действует на отключение соответствующих аппаратов, например синхронного компенсатора или трансформатора собственного расхода;



щит трансформаторов.

жений: *1—3*—выключатели; *4—7*—трансформаторы тока; *8—16*—реле тока типа ЭТ-521; *17—19*—реле напряжения со встроенным *25—28*—реле времени типа ЭВ-134А; *29*—реле времени типа ЭВ-133А; *30—32*—реле указательное типа РУ-21; *33—35*—испытательный форматоры тока; *6*—реле тока типа ЭТ-521; *7*—реле тока со встроенным фильтром обратной последовательности типа РТФ-1; *8*—реле форматора от замыканий на землю: *1, 2*—трансформаторы тока; *3, 4*—реле направления мощности типа ИМБ-178; *5—8*—реле тока реле сигнальное типа РУ-21; *г*—схема защиты трансформатора от замыканий на землю со стороны 0,4 *кв* (схема соединения обмоток ИТ-80 или РТ-80; *д*—схема защиты трансформатора от замыканий на землю со стороны 0,4 *кв* (схема соединения обмоток звезда-звезвремени типа ЭВ-134.

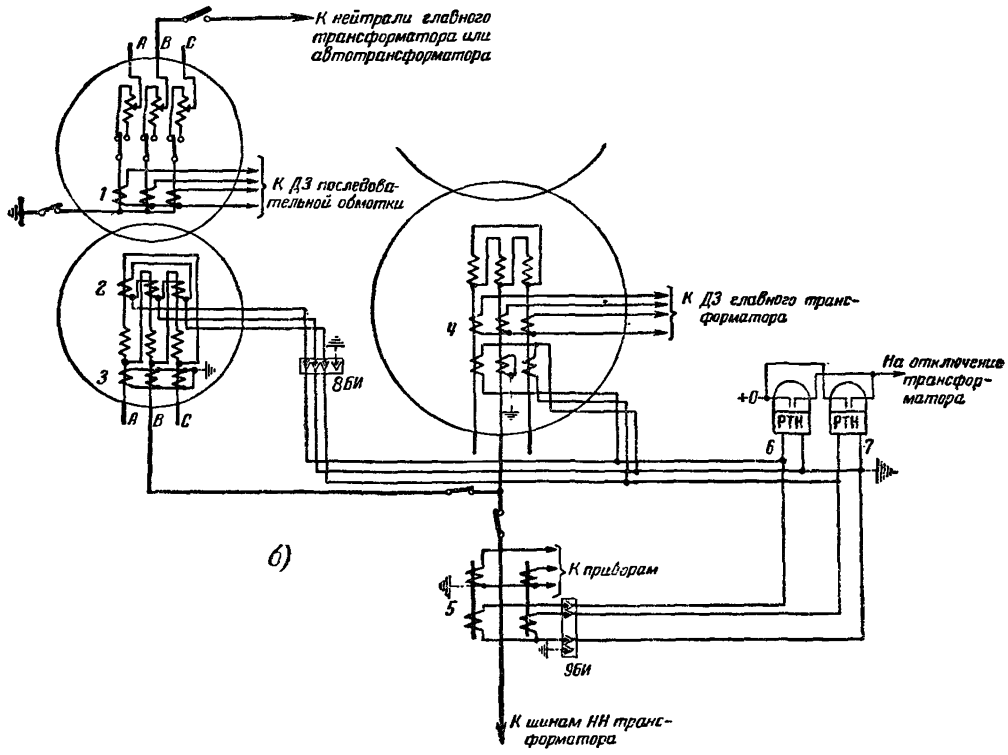




а)

Рис. 4-32. Схема дифференциальной защиты последовательной обмотки вольтодобавочного трансформатора.

1—4 — трансформаторы тока; *5—7* — реле дифференциальное типа РНТ-562; *8—9* — испытательный блок типа БИ.



б)

Рис. 4-33. Схема защиты возбуждающей

а — с реле МЗТ-1: *1—5* — трансформаторы тока; *6—8* — реле тока с тормозной характеристикой типа МЗТ-1; *9, 10* — испытательный блок типа БИ; *в* — при наличии синхроинного компенсатора с реле РНТ-562 *1—4* — трансформаторы тока; *5, 6* — выключа

со второй выдержкой времени действует на отключение главного трансформатора (автотрансформатора).

Во избежание неправильного действия защиты при повреждении в синхронном компенсаторе (синхронном двигателе) после его отключения за счет подпитки места повреждения от компенсатора (или двигателя) предусматривается блокирование второй ступени токовым трехфазным реле типа ЭТ-523/Р.

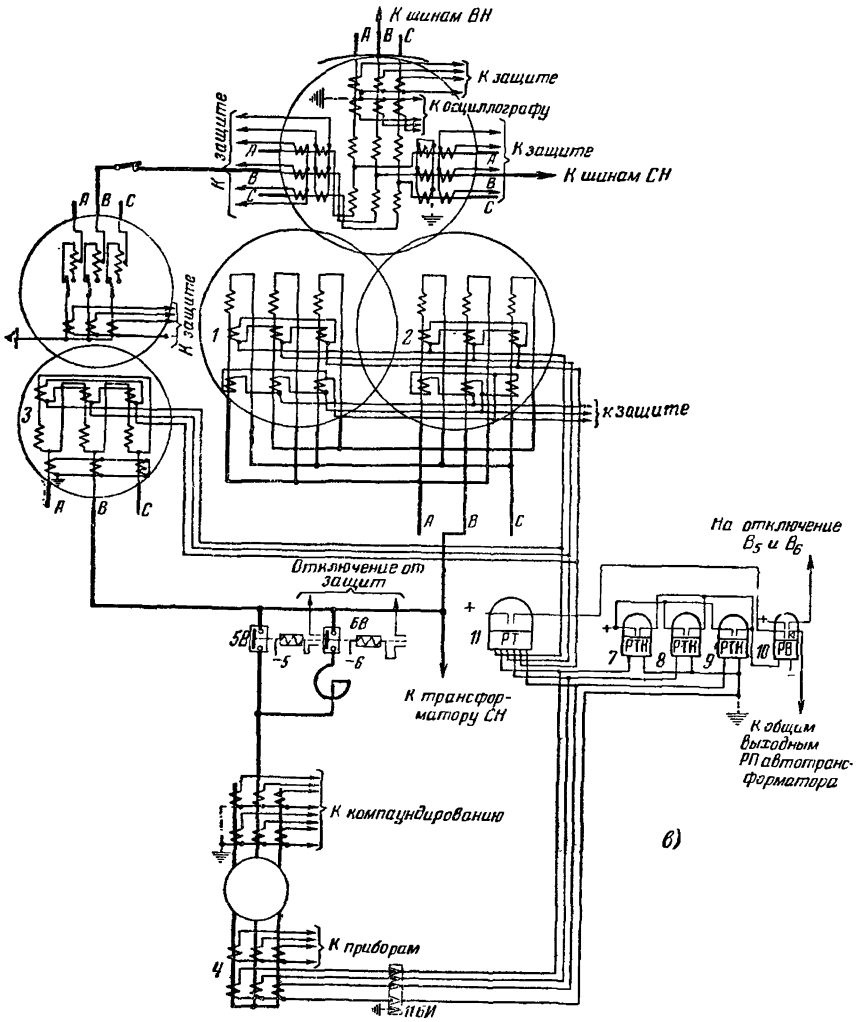
Газовая защита. Выпускаемые в настоящее время вольтодобавочные трансформаторы конструктивно выполняются однобаковыми. Это позволяет ограничиться установкой одного газового реле. Схема защиты не отличается от рассмотренных выше газовых защит трансформаторов.

4-7. ЗАЩИТА БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР — ТРАНСФОРМАТОР И ГЕНЕРАТОР — АВТОТРАНСФОРМАТОР

Принципы выполнения схем отдельных защит на блоках генератор — трансформатор и генератор — автотрансформатор одинаковы с принципами защиты отдельных генераторов, трансформаторов и автотрансформаторов, которые были рассмотрены выше. Поэтому в настоящем разделе отмечается только то, что является характерным для схем защиты блоков генератор—трансформатор и генератор—автотрансформатор.

1. При отсутствии выключателя между генератором и трансформатором (автотрансформатором) допустимо не предусматривать отдельной защиты генератора в случае достаточной чувствительности общей дифференциальной защиты блока. Указанное не распространяется на турбогенераторы новых серий с форсированным использованием активных материалов. Принимая во внимание целесообразность осуществления более чувствительной защиты этих генераторов в силу возможных значительных разрушений при отключении повреждений с выдержками времени резервных защит, предлагается устанавливать на них дифференциальную защиту с током срабатывания ниже номинального (отстроенным от тока небаланса при сквозных повреждениях).

В целях обеспечения селективности защиты при



обмотки вольтодобавочного трансформатора.

типа БИ; *б*—с реле РНТ-562: *1—5*—трансформаторы тока; *6—7*—реле дифференциальное типа РНТ-562; *8, 9*—испытательный блок тели; *7—9*—реле дифференциальное типа РНТ-562; *10*—реле времени типа ЭВ-114А; *11*—реле тока типа ЭТ-523/р.

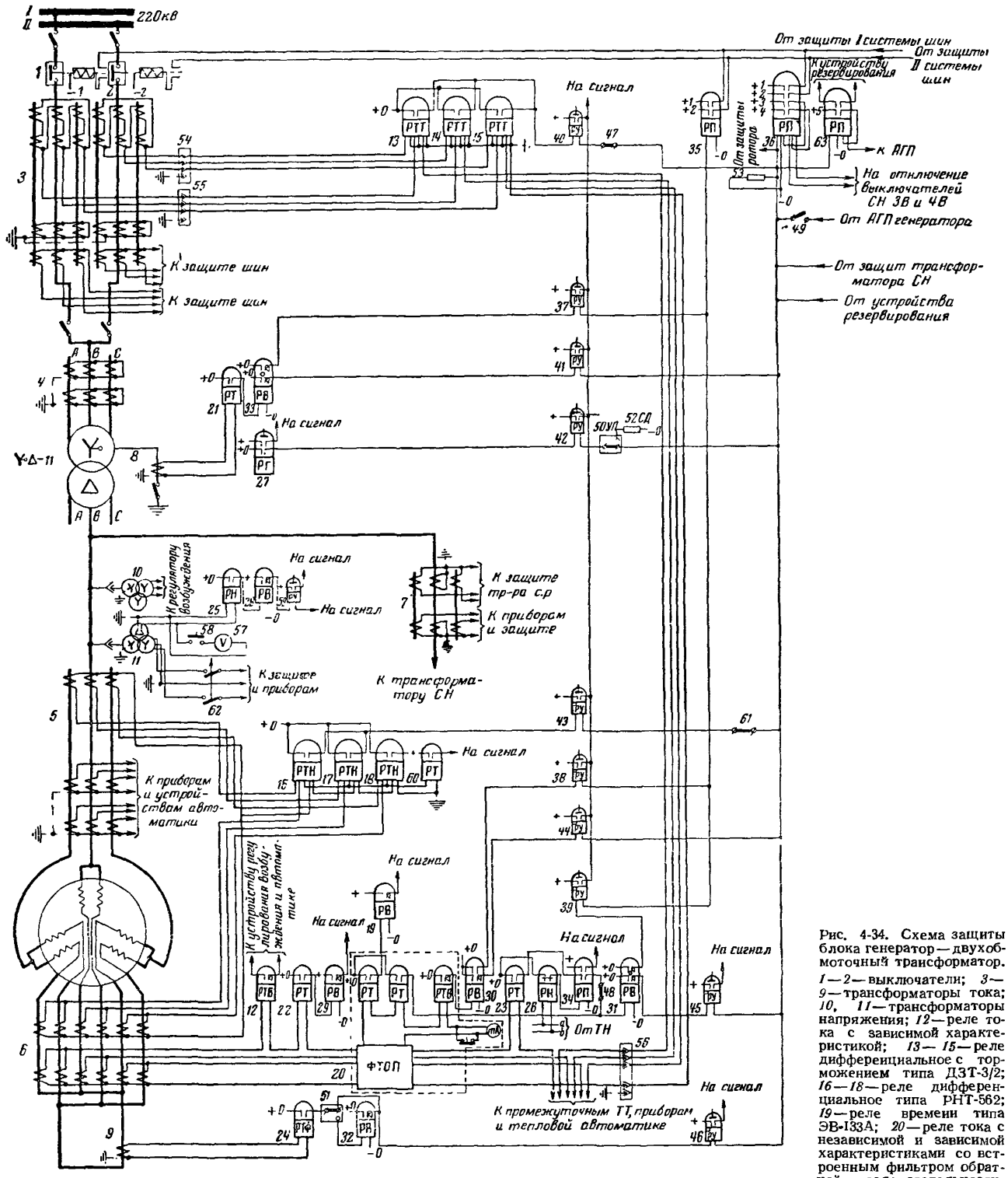


Рис. 4-34. Схема защиты блока генератор — двухобмоточный трансформатор.

1—2 — выключатели; *3—9* — трансформаторы тока; *10, 11* — трансформаторы напряжения; *12* — реле тока с зависимой характеристикой; *13—15* — реле дифференциальное с торможением типа ДЗТ-3/2; *16—18* — реле дифференциальное типа РНТ-562; *19* — реле времени типа ЭВ-133А; *20* — реле тока с независимой и зависимой характеристиками со встроенным фильтром обратной последовательности; *21—23, 60* — реле тока типа ЭТ-521; *24* — реле тока со встроенным фильтром высших гармоник типа ЭТ-521/Ф; *25* — реле напряжения типа ЭН-526; *26* — реле напряжения типа ЭН-529; *27* — реле газовое типа ПГ-22; *28, 29* — реле времени типа ЭВ-133А; *30, 32* — реле времени типа ЭВ-124А; *31, 33* — реле времени типа ЭВ-132А; *34, 35* — реле промежуточное типа РП-23; *36, 63* — реле промежуточное типа РП-255; *37—46, 59* — реле указательное типа РУ-21; *47—51, 61* — отключающее устройство типа НКР-2; *52, 53* — сопротивление добавочное; *54—56* — испытательный блок типа БИ, *57* — вольтметр (со шкалой 0—50 в) типа Э-30; *58* — кнопка типа КОЗ.

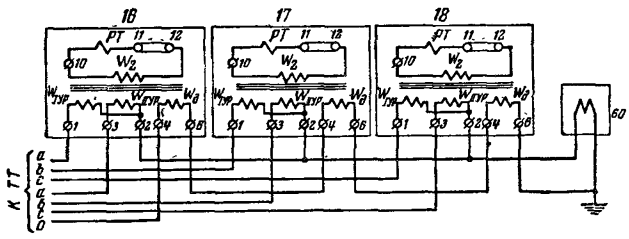


Рис. 4-34.

обрыве в соединительных проводах необходимо использовать вторую обмотку промежуточного трансформатора реле РНТ-562, включаемую в нулевой провод защиты (рис. 4-34).

2. Защита от замыканий на землю в статорной обмотке генератора выполняется с действием на сигнал. Для этой цели используется реле напряжения, реагирующее на утроенное значение напряжения нулевой последовательности.

Реле включается или к дополнительной (разомкнутому треугольнику) обмотке трансформатора напряжения, или к вторичной обмотке дугогасящей катушки. Дугогасящая катушка устанавливается при величине емкостного тока статорной обмотки, превышающей 5 *а*.

3. На турбогенераторах новых серий с форсированным использованием активных материалов в качестве резервной защиты от междуфазных повреждений предусматривается фильтровая токовая защита обратной последовательности и токовая защита, реагирующая на полный ток фазы от симметричных повреждений; первая защита выполняется с зависимой характеристикой, соответствующей перегрузочной способности генератора по току обратной последовательности.

Указанные защиты характерны для генераторов, работающих в блоке с трансформаторами (автотрансформаторами), потому что машины с форсированным использованием активных материалов изготавливаются промышленностью мощностью, начиная от 100 тыс. *квт* и выше, т. е. для работы главным образом в блоке с трансформаторами или автотрансформаторами.

На рис. 4-34 приведена схема защиты блока генератор — двухобмоточный трансформатор.

4-8. ЗАЩИТА АСИНХРОННЫХ И СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 2 *кв* И ВЫШЕ

а) Общие положения и основные требования к защите асинхронных электродвигателей

1. При выполнении защиты электродвигателей следует учитывать тип, мощность и номинальное напряжение двигателя, его назначение и ответственность в производственном процессе, а также род оперативного тока (постоянный или переменный).

2. Защита электродвигателей должна удовлетворять следующим основным требованиям:

а) Включать в зону своего действия, кроме двигателя, также и оборудование, расположенное между трансформаторами тока защиты и двигателем.

б) Обеспечивать самозапуск основных технологически ответственных двигателей, за исключением двигателей, самозапуск которых невозможен из-за тяжелых условий пуска, и неответственных двигателей, подлежащих отключению. Число и мощность этих двигателей определяются требованием поддержания на ответственных двигателях напряжения, обеспечивающего их надежный самозапуск. Особенно важно обеспечение самозапуска двигателей собственных нужд электростанции.

в) Защита двигателей от многофазных замыканий выполняется без выдержки времени с помощью максимальной токовой отсечки, отстроенной от пусковых токов, а также от токов, посылаемых двигателем, при коротких замыканиях в системе.

г) Защита от многофазных замыканий двигателей мощностью до 2 000 *квт* выполняется, как правило, одним реле тока, включенным на разность токов двух фаз трансформаторов тока.

При недостаточной чувствительности вышеуказанной защиты она предусматривается в двухрелейном исполнении, а при наличии шести выводов обмотки статора может применяться продольная дифференциальная токовая защита в двухфазном исполнении; двухрелейная схема защиты рекомендуется к применению для двигателей мощностью от 2 000 до 5 000 *квт*.

д) Защита двигателей от многофазных замыканий мощностью 5 000 *квт* и выше, имеющих шесть выводов обмотки статора, осуществляется продольной дифференциальной токовой защитой в трехфазном исполнении.

е) Защита от перегрузок предусматривается на двигателях, имеющих тяжелые условия пуска и самозапуска, подверженных перегрузкам по технологическим причинам.

Защита обычно выполняется одним токовым реле с зависимой характеристикой или с помощью реле тока мгновенного действия и реле времени.

Защита от перегрузки выполняется с действием на отключение в случаях, если не обеспечивается самозапуск двигателя или требуется его остановка для снятия технологической перегрузки (при работе без постоянного дежурного персонала).

Защита выполняется с действием на сигнал или на разгрузку механизма, если предусмотрена возможность автоматического или ручного снятия перегрузки с механизма и двигатель находится под наблюдением персонала.

ж) Защита минимального напряжения предусматривается для обеспечения условий самозапуска двигателей и обеспечения условий техники безопасности, технологического процесса, блокировок или АВР.

Защита минимального напряжения при применении ее для обеспечения самозапуска двигателей выполняется с действием на отключение неответственных или менее ответственных двигателей с выдержкой времени, на ступень большей времени действия быстродействующих защит от многофазных замыканий (порядка 0,5 *сек*), и уставкой по напряжению 0,7 $U_{ном}$.

Защита минимального напряжения при применении ее для обеспечения условий техники безопасности, технологического процесса или блокировок выполняется с выдержкой времени порядка 10 *сек*, превышающей возможную длительность кратковременных перерывов питания. Уставка по напряжению 0,5 $U_{ном}$.

Классификация двигателей высокого напряжения собственных нужд тепловой электростанции по признакам их ответственности, подверженности перегрузкам, а также использования для них защит минимального напряжения приведена в табл. 4-4.

Защита минимального напряжения в целях экономии обычно выполняется общей для группы двигателей, питаемых с одной секции шин или сборки. В этом случае схема защиты может иметь несколько выдержек времени, а отключение двигателей производится через предусмотренные для этого промежуточные реле.

з) Защита двигателей мощностью до 2 000 *квт* от замыканий одной фазы на землю должна выполняться при токах замыкания на землю превышающих 10 *а*,

Таблица 4-4

Классификация двигателей собственного расхода 2—6 *кв* тепловой электростанции по признакам их ответственности, подверженности перегрузкам, а также использования для них защит минимального напряжения

Наименование механизма	Классификация двигателей механизмов собственного расхода		Использование защиты минимального напряжения
Питательный насос Конденсатный насос турбины	Двигатели, не подверженные перегрузкам	Ответственные двигатели	Защита действует с $t = 10$ *сек* при наличии АВР, в противном случае отключение двигателя не предусматривается[1]
Циркуляционный насос Дутьевой вентилятор			Защита действует с $t = 10$ *сек* для обеспечения действия технологической блокировки[1]
Резервный возбудитель Пожарный насос			Отключение от защиты не предусматривается
Мельничный вентилятор Дымосос	Двигатели, подверженные перегрузкам		То же „ „
Мельница шахтная			Защита действует с $t = 10$ *сек* ввиду невозможности самозапуска двигателя при пониженном напряжении
Мельница шаровая Шламовый насос Багерный насос Дробилка Скреперная лебедка Воздушный компрессор		Неответственные двигатели	Защита действует с $t = 0{,}5$ *сек*
Конденсатный насос бойлеров Смывной насос Перекачивающий насос химводоочистки Насос эжектирующей воды Сетевой насос	Двигатели, не подверженные перегрузкам		

[1] При выведении из действия устройства АВР или технологической блокировки отключение от защиты минимального напряжения не производится.

с действием на отключение без выдержки времени. Защита выполняется с помощью максимального токового реле, присоединенного к ТНП. Такая защита для двигателей мощностью более 2 000 *квт* применяется, начиная с тока замыкания на землю 5 *а* и выше.

и) Защиты двухскоростных асинхронных двигателей с двумя независимыми статорными обмотками выполняются, исходя из условия, что обе статорные обмотки не включаются одновременно к источнику тока.

б) Принципиальные схемы защиты асинхронных электродвигателей напряжением 2 *кв* и выше

1. *Схема защиты асинхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью ниже 2 000 квт, не подверженного перегрузкам* (сетевые и смывные насосы, резервные возбудители или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-35,*а*).

Типы защит:

а) токовая отсечка без выдержки времени — от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыкания на землю;

в) минимального напряжения с выдержкой времени — для облегчения самозапуска ответственных двигателей.

Краткое описание

Токовая отсечка от междуфазных коротких замыканий выполнена с помощью одного реле тока типа ЭТ-521, включенного на разность токов двух фаз.

Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью одного реле тока типа ЭТ-521/0,2, подключенного к ТНП (рис. 4-35,*а*).

Защита минимального напряжения предусматривается для неответственных двигателей и действует на отключение с выдержкой времени порядка 0,5 *сек*

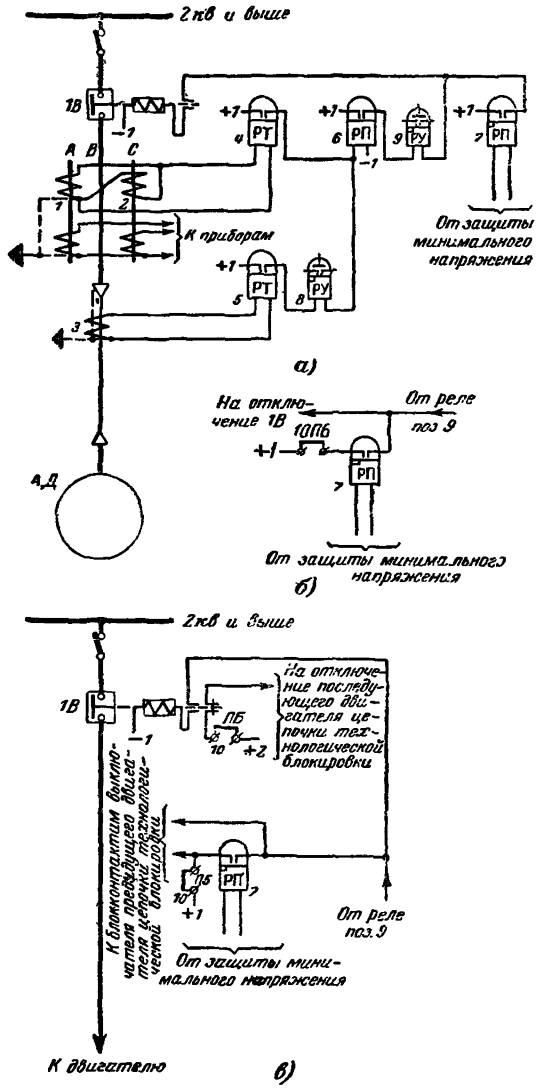


Рис. 4-35. Схема защиты асинхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью ниже 2 000 *квт*, не подверженного перегрузкам.

1—2 — трансформатор тока; *3* — трансформатор тока нулевой последовательности; *4—5* — реле тока типа ЭТ-521; *6* — реле промежуточное типа РП-23; *7* — реле промежуточное типа РП-24; *8—9* — реле указательное типа РУ-21; *10* — переключатель.

от комплекта реле напряжения, общего для группы двигателей.

При применении АВР защита минимального напряжения может использоваться для подачи импульса на отключение ответственного двигателя с выдержкой времени порядка 10 *сек*. В цепи реле (поз. 7) устанавливается переключатель *ПБ* для возможности вывода из действия этой защиты при выведенном АВР, как это показано на рис. 4-35,*б*.

При использовании схемы рис. 4-35,*а* для ответственного двигателя, не подверженного перегрузкам и входящего в цепочку технологической блокировки, защита минимального напряжения, предусмотренная для обеспечения действия технологической блокировки, выполняется, как показано на рис. 4-35,*в*, и действует на отключение двигателя с выдержкой времени порядка 10 *сек*.

2. *Схема защиты асинхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью ниже 2 000 квт, подверженного перегрузкам* (дробилки, дымососы собственных нужд электростанций, а также другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-36,*а*).

Типы защит:

1) токовая отсечка без выдержки времени от междуфазных повреждений;

2) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от сверхтоков, обусловленных технологической перегрузкой;

3) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени от замыкания на землю;

4) минимального напряжения с выдержкой времени для облегчения самозапуска ответственных двигателей.

Краткое описание

Токовая отсечка от междуфазных коротких замыканий и максимальная токовая защита от сверхтоков перегрузки выполнены с помощью одного реле типа РТ-82, включенного на разность токов двух фаз.

В схеме показано выполнение защиты от перегрузки с действием на отключение (рис. 4-36,*а*) для случая, когда персонал не может устранить перегрузку без останова механизма (завал угля в дробилке) или двигатель имеет тяжелые условия самозапуска (дымосос). Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью одного реле тока типа ЭТ-521/0,2, подключенного к ТНП.

Защита минимального напряжения предусматривается для неответственного двигателя и действует на отключение с выдержкой времени порядка 0,5 *сек* от одного комплекта реле минимального напряжения, предназначенного для группы двигателей.

При использовании схемы рис. 4-36,*а* для двигателя, входящего в цепочку технологической блокировки, предусматривается отключение от защиты минимального напряжения по схеме, показанной на рис. 4-36,*б*, где приведена также и цепочка технологической блокировки.

3. *Схема защиты ответственного асинхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью ниже 2 000 квт, подверженного перегрузкам, требующим разгрузки* (шахтные мельницы собственных нужд электростанций или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-37).

Типы защит:

а) токовая отсечка без выдержки времени — от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от сверхтоков, вызванных перегрузкой, которая не может быть устранена во время работы механизма;

в) максимальная токовая с независимой выдержкой времени — от сверхтоков кратковременных перегрузок, устраняемых воздействием на двигатель смежного механизма в цепи технологического процесса;

г) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыкания на землю;

д) минимального напряжения с выдержкой времени ввиду невозможности самозапуска двигателя при пониженном напряжении.

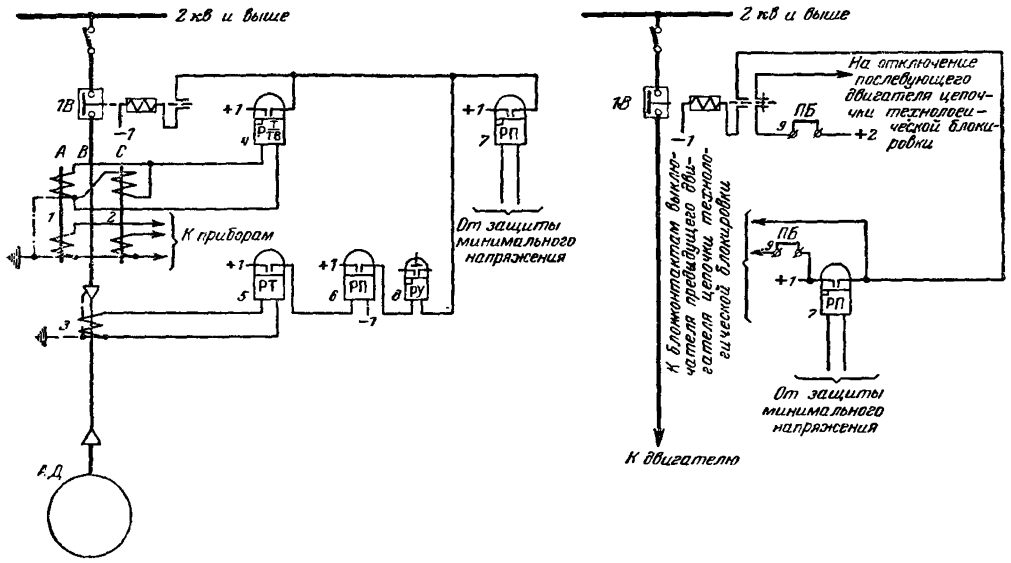


Рис. 4-36. Схема защиты асинхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью ниже 2 000 *квт*, подверженного перегрузкам.

1—2—трансформатор тока; *3*—трансформатор тока нулевой последовательности; *4*—реле тока типа РТ-82; *5*—реле тока типа ЭТ-521; *6*—реле промежуточное типа РП-23; *7*—реле промежуточное типа РП-24; *8*—реле указательное типа РУ-21; *9*—переключатель.

Краткое описание

Токовая отсечка от междуфазных коротких замыканий и максимальная токовая защита от сверхтоков, вызванных перегрузкой, которую нельзя устранить без остановки механизма (например, завал шахтной мельницы углем), выполнены с помощью одного реле типа РТ-82, включенного на разность токов двух фаз. Защиты действуют на отключение электродвигателя.

Максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени от сверхтоков кратковременных перегрузок выполнена с помощью одного реле типа ЭТ-521, включенного последовательно с реле типа РТ-82 и действующего с выдержкой времени на двигатель смежного механизма в цепи технологического процесса (например, на двигатель питателя сырого угля для шахтной мельницы).

Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью реле типа ЭТ-521/0,2, подключенного к ТНП.

Защита минимального напряжения предусматривается с выдержкой времени и действует на отключение двигателя смежного механизма в цепи технологического процесса (например, двигателя питателя сырого угля для шахтной мельницы) или на отключение защищаемого двигателя (например, двигателя шахтной мельницы).

Выдержка времени защиты минимального напряжения определяется в зависимости от условий работы двигателя и технологии производства.

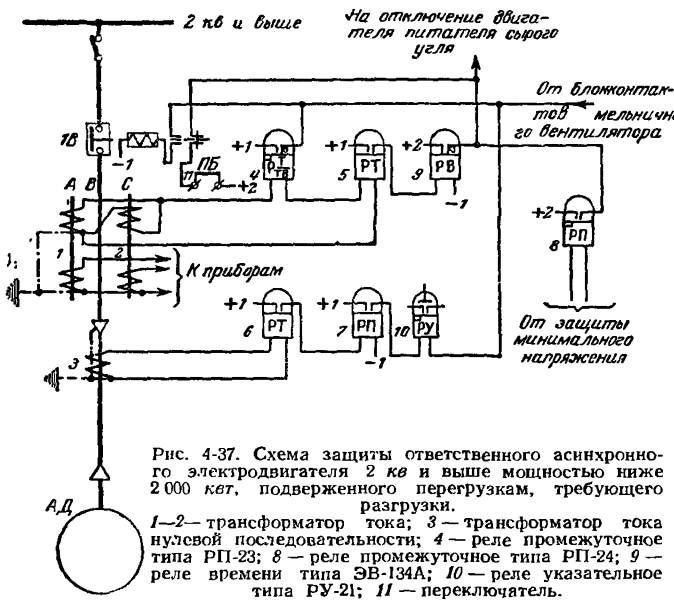


Рис. 4-37. Схема защиты ответственного асинхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью ниже 2 000 *квт*, подверженного перегрузкам, требующего разгрузки.

1—2— трансформатор тока; *3* — трансформатор тока нулевой последовательности; *4* — реле промежуточное типа РП-23; *8* — реле промежуточное типа РП-24; *9* — реле времени типа ЭВ-134А; *10* — реле указательное типа РУ-21; *11* — переключатель.

4. *Схема защиты ответственного асинхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью 2 000 квт и выше, не подверженного перегрузкам, при наличии трех выводов у статора двигателя* (питательные насосы собственных нужд электростанций или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-38).

Типы защит:

а) токовая отсечка без выдержки времени— от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой—от междуфазных повреждений;

в) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержек времени—от замыкания на землю;

г) минимального напряжения с выдержкой времени при наличии АВР.

Краткое описание

Токовая отсечка и максимальная токовая защита с выдержкой времени от междуфазных коротких замыканий выполнены с помощью

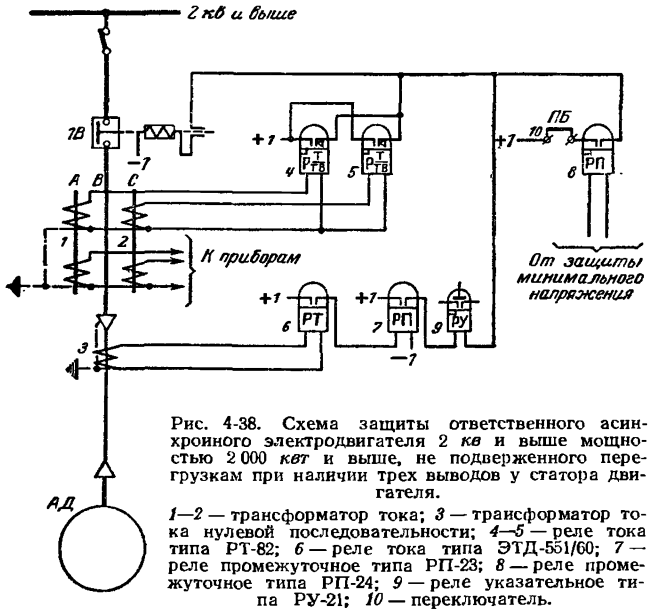


Рис. 4-38. Схема защиты ответственного асинхроиного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью 2 000 *квт* и выше, не подверженного перегрузкам при наличии трех выводов у статора двигателя.

1—2 — трансформатор тока; *3* — трансформатор тока нулевой последовательности; *4—5* — реле тока типа РТ-82; *6* — реле тока типа ЭТД-551/60; *7* — реле промежуточное типа РП-23; *8* — реле промежуточное типа РП-24; *9* — реле указательное типа РУ-21; *10* — переключатель.

двух реле типа РТ-82, включенных на фазные токи для повышения чувствительности отсечки. Зависимый элемент реле РТ-82 используется для защиты двигателя в случае тяжелых условий пуска и самозапуска. Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью реле типа ЭТД-551/60, подключенного к ТНП. Защита минимального напряжения предусматривается с выдержкой времени порядка 10 *сек* при наличии у защищаемого двигателя устройства АВР. Для защиты используется комплект реле минимального напряжения, общий для группы двигателей.

5. *Схема защиты ответственного асинхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью 5 000 квт и выше, не подверженного перегрузкам, при наличии шести выводов у статора двигателя* (циркуляционные насосы собственных нужд электростанций или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-39).

Типы защит:

а) продольная дифференциальная токовая без выдержки времени—от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени—от замыканий на землю;

в) минимального напряжения с выдержкой времени при наличии АВР.

Краткое описание

Продольная дифференциальная защита от междуфазных коротких замыканий выполнена двухфазной с помощью реле типа ЭТ-521.

Защита не требует отстройки от пусковых токов, что повышает ее чувствительность. Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью реле типа ЭТД-551/60, подключенного к ТНП. Защита минимального напряжения предусматривается с выдержкой времени порядка 10 *сек* при наличии у защищаемого двигателя устройства АВР. Для защиты используется комплект реле минимального напряжения, общий для группы двигателей.

6. *Схема защиты двухскоростного асинхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью ниже 5 000 квт, не подверженного перегрузкам* (циркуляционные насосы собственных нужд электростанций или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-40).

Типы защит:

а) токовая отсечка без выдержки времени — от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от междуфазных повреждений;

в) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыканий на землю;

г) минимального напряжения с выдержкой времени при наличии АВР.

Краткое описание

Токовая отсечка и максимальная токовая защита от междуфазных коротких замыканий выполнены с помощью реле типа РТ-82, включенного на разность токов двух фаз для каждой статорной обмотки в отдельности. Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью одного реле тока типа ЭТ-521/0,2, подключенного к ТНП, для каждой статорной обмотки в отдельности.

Защита минимального напряжения выполнена с выдержкой времени порядка 10 *сек* при наличии у защищаемого двигателя АВР. При отключении АВР с помощью переключателя *ПБ* защита минимального напряжения выводится из действия.

Для защиты используется комплект реле минимального напряжения, общий для группы двигателей. При недостаточной чувствительности защиты от междуфазных коротких замыканий по схеме рис. 4-40,*а* она выполняется двумя реле типа РТ-82, включенными

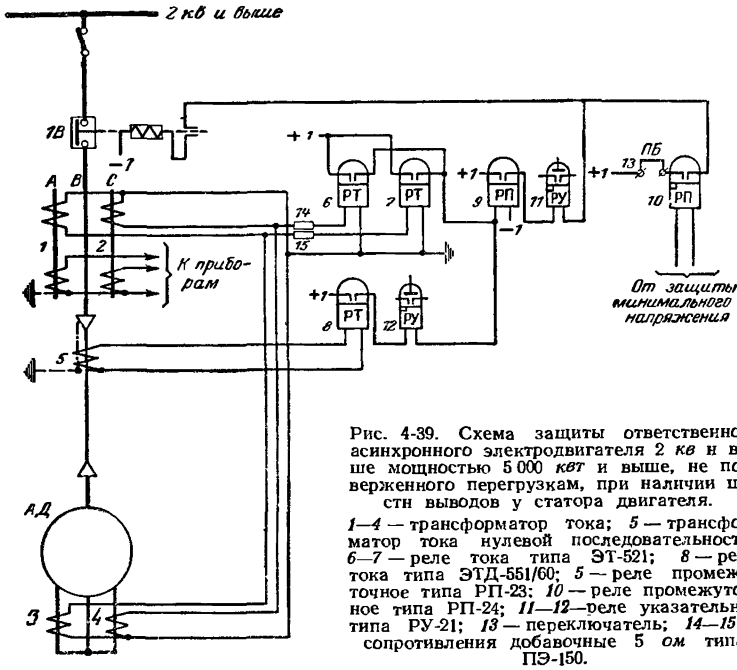


Рис. 4-39. Схема защиты ответственного асинхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью 5 000 *квт* и выше, не подверженного перегрузкам, при наличии шести выводов у статора двигателя.

1—4 — трансформатор тока; *5* — трансформатор тока нулевой последовательности; *6—7* — реле тока типа ЭТ-521; *8* — реле тока типа ЭТД-551/60; *5* — реле промежуточное типа РП-23; *10* — реле промежуточное типа РП-24; *11—12*—реле указательное типа РУ-21; *13* — переключатель; *14—15* — сопротивления добавочные 5 *ом* типа ПЭ-150.

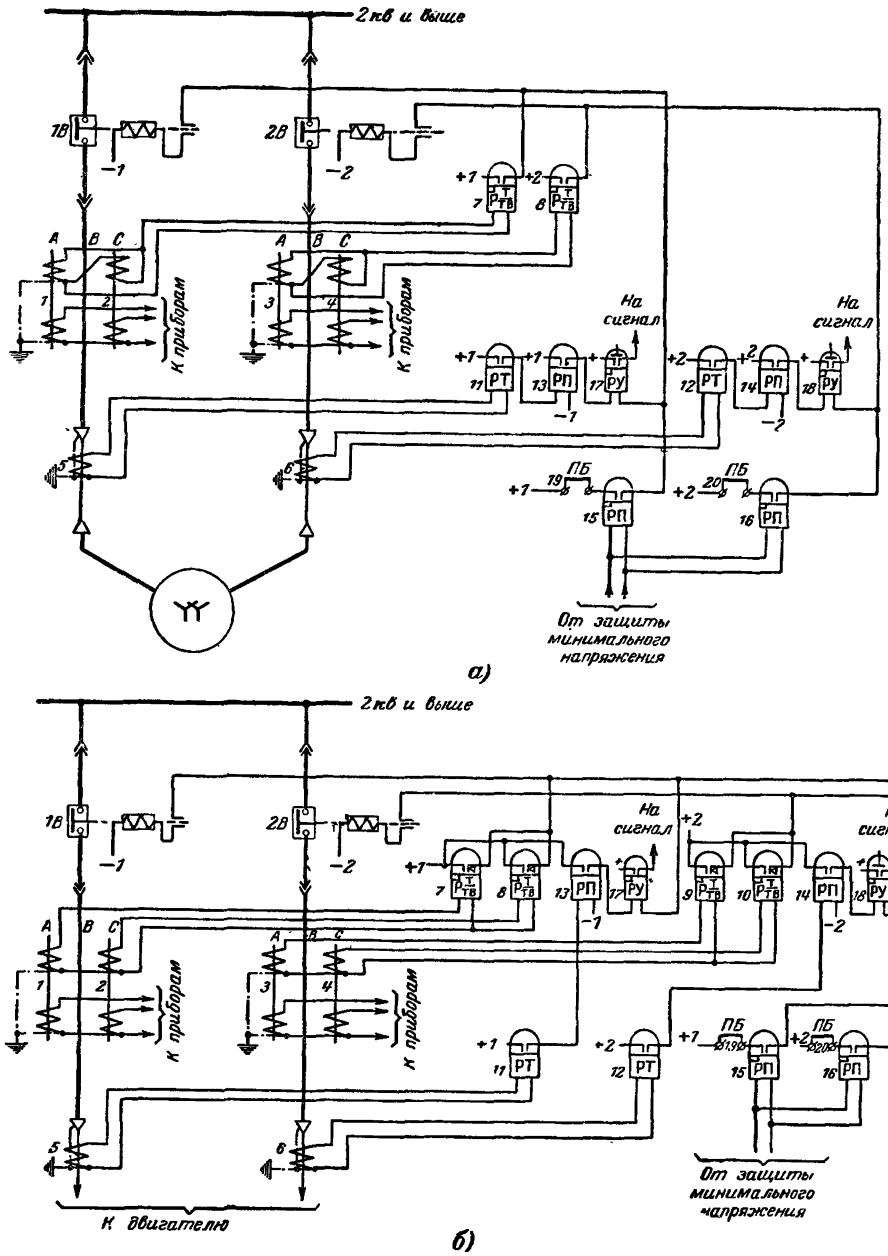


Рис. 4-40. Схема защиты двухскоростного асинхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью ниже 5 000 *квт*, не подверженного перегрузкам.

1—4—трансформатор тока; *5—6*—трансформатор тока нулевой последовательности; *7—10* — реле тока типа РТ-82; *11—12* — реле тока типа ЭТ-521; *13—14* — реле промежуточное типа РП-23; *15—16* — реле промежуточное типа РП-24; *17—18* — реле указательное типа РУ-21; *19—20* — переключатель.

на фазные токи для каждой статорной обмотки в отдельности, как показано на рис. 4-40,*б*.

7. *Схема защиты двухскоростного асинхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью ниже 5 000 квт с тяжелыми условиями самозапуска, входящего в цепочку технологической блокировки* (дымососы собственных нужд электростанций или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-41).

Типы защит:

а) токовая отсечка без выдержки времени — от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от междуфазных повреждений;

в) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыканий на землю.

Краткое описание

Токовая отсечка и максимальная токовая защита от междуфазных коротких замыканий выполнены с помощью одного реле типа РТ-84, включенного на разность токов двух фаз для каждой статорной обмотки в отдельности. Чувствительный элемент защиты дополнен реле времени типа ЭВ-144А для надежной отстройки от затяжного пуска. Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью одного реле типа ЭТ-521/0,2, подключенного к ТНП, для каждой статорной обмотки в отдельности. Защита минимального напряжения не предусматривается в схеме. Через блок-контакты выключателя предусмотрена цепь на отключение последующего двигателя, исходя из того, что

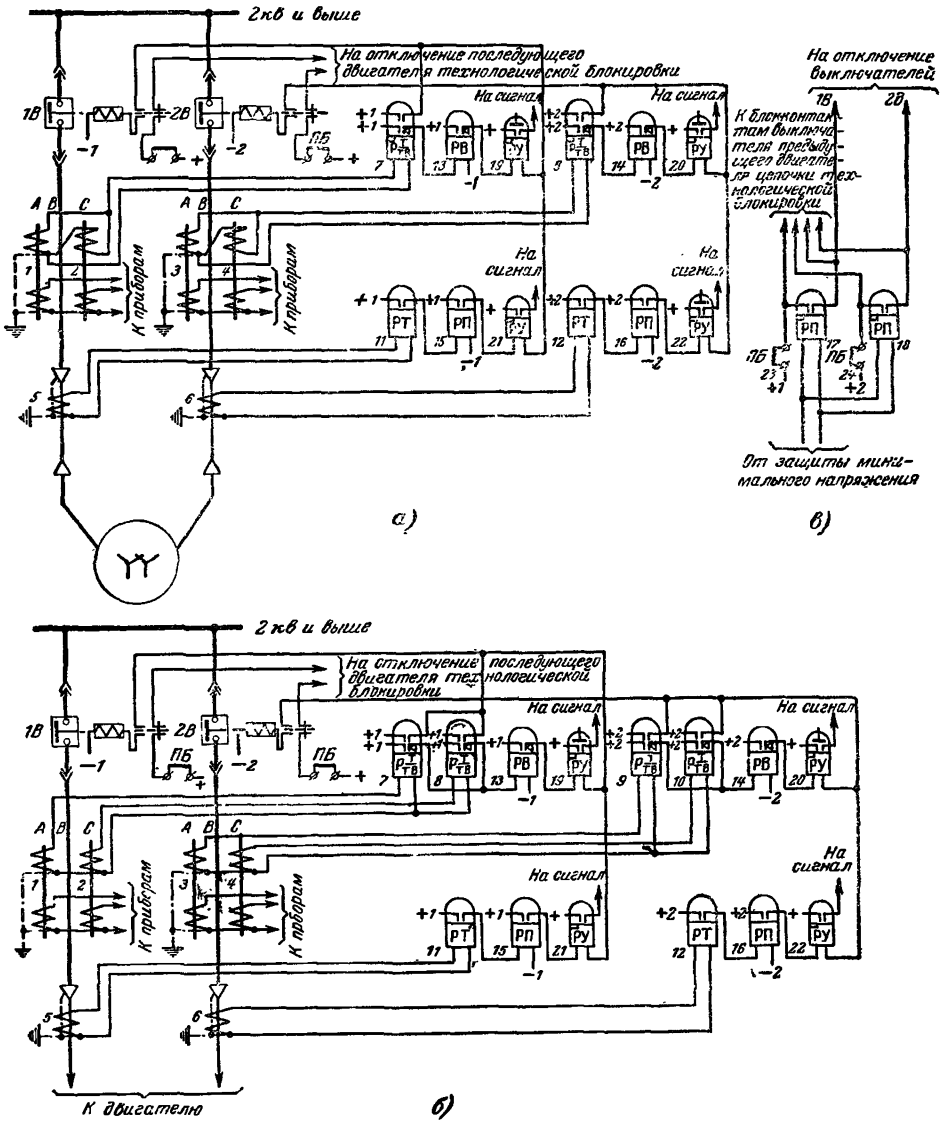


Рис. 4-41. Схема защиты двухскоростного асинхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью ниже 5 000 *квт* с тяжелыми условиями самозапуска, входящего в цепочку технологической блокировки.

1—4—трансформатор тока; *5—6*—трансформатор тока нулевой последовательности; *7—10* — реле тока типа РТ-84; *11—12* — реле тока типа ЭТ-521; *13—14* — реле времени типа ЭВ-144А; *15—16* — реле промежуточное типа РП-23; *17—18* — реле промежуточное типа РП-24; *19—22* — реле указательное типа РУ-21; *23—24* — переключатель.

Примечание. Цепи технологической блокировки показаны условно.

двигатель находится первым в цепи технологической блокировки.

При недостаточной чувствительности защиты от междуфазных коротких замыканий по схеме рис. 4-41,*а* она выполняется с двумя реле типа РТ-84, включенными на фазные токи для каждой статорной обмотки в отдельности, как показано на рис. 4-41,*б*.

При выполнении защит по рис. 4-41,*а* или *б* для двигателей, у которых предусматриваются защита минимального напряжения и дополнительные цепи технологической блокировки; необходимо схему защиты дополнить отключающими цепями от комплекта реле напряжения (общего для группы двигателей) и цепями технологической блокировки, как показано на рис. 4-41,*в*.

8. *Схема защиты двухскоростного асинхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью 5 000 квт и выше, не подверженного перегрузкам, при наличии нулевых выводов у статора двигателя* (циркуляционные насосы собственных нужд электростанций или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-42).

Типы защит:

а) продольная дифференциальная токовая — от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыканий на землю;

в) минимального напряжения с выдержкой времени при наличии АВР.

Краткое описание

Продольная дифференциальная защита от междуфазных коротких замыканий выполнена двухфазной с помощью дифференциальных реле типа РНТ-562. За-

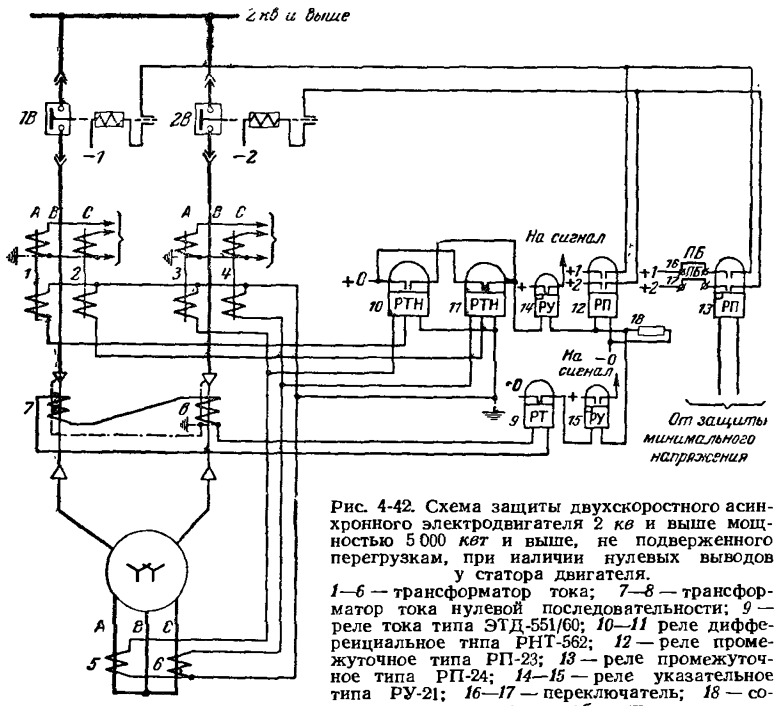


Рис. 4-42. Схема защиты двухскоростного асинхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью 5 000 *квт* и выше, не подверженного перегрузкам, при наличии нулевых выводов у статора двигателя.
1—6 — трансформатор тока; *7—8* — трансформатор тока нулевой последовательности; *9* — реле тока типа ЭТД-551/60; *10—11* реле дифференциальное типа РНТ-562; *12* — реле промежуточное типа РП-23; *13* — реле промежуточное типа РП-24; *14—15* — реле указательное типа РУ-21; *16—17* — переключатель; *18* — сопротивление добавочное.

Для защиты используется комплект реле напряжения, общий для группы двигателей. Все защиты действуют на отключение обоих выключателей двигателя.

9. *Схема защиты двухскоростного асинхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью 5 000 квт и выше, подверженного перегрузкам, входящего в цепочку технологической блокировки, при наличии нулевых выводов у статора двигателя* (дымососы собственных нужд электростанций или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-43).

Типы защит:

а) продольная дифференциальная токовая—от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от перегрузки;

в) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени— от замыкания на землю.

Краткое описание

Продольная дифференциальная защита от междуфазных коротких замыканий выполнена двухфазной с помощью реле типа РНТ-562. Защита от перегрузки выполнена с помощью реле типа РТ-84 с дополнительным реле времени типа ЭВ-144А для надежной отстройки от затяжного пуска. Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью реле тока типа ЭТД-551/60, общего для обеих статорных обмоток и подключенного к ТНП. Все защиты действуют на отключение обоих выключателей двигателя.

щита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью одного реле тока типа ЭТД-551/60, подключенного к ТНП.

Защита минимального напряжения предусматривается с выдержкой времени порядка 10 *сек* при наличии у защищаемого двигателя устройства АВР.

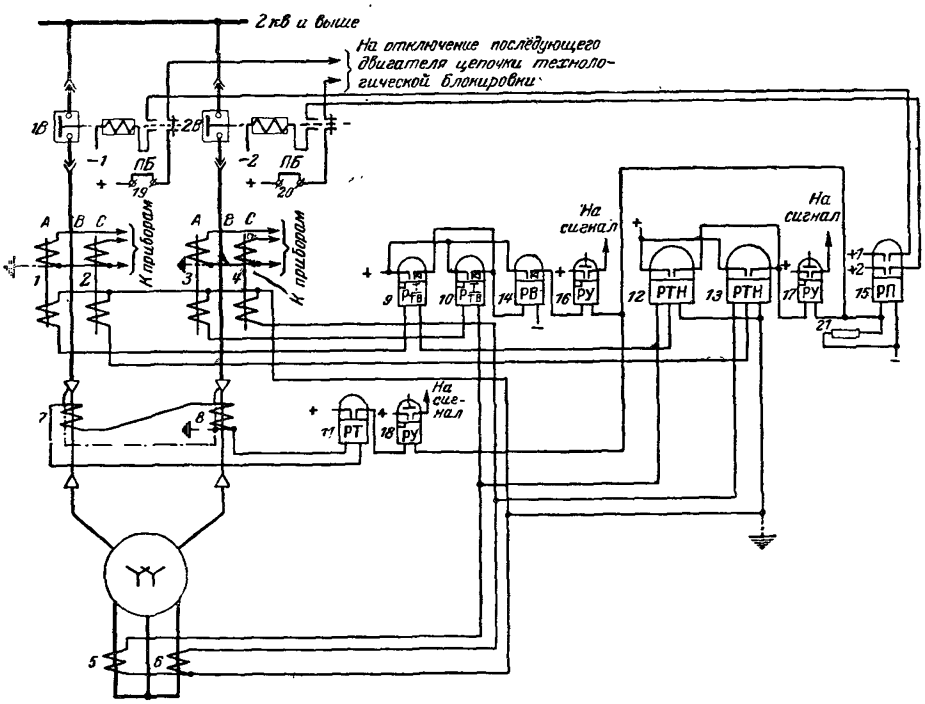


Рис. 4-43. Схема защиты двухскоростного асинхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью 5 000 *квт* и выше, подверженного перегрузкам, входящего в цепочку технологической блокировки, при наличии нулевых выводов у статора двигателя.
1—6 — трансформатор тока; *7—8* — трансформатор тока нулевой последовательности; *9—10* — реле тока типа РТ-84; *11* — реле тока типа ЭТД-551/60; *12—13* — реле дифференциальное типа РНТ-562; *14* — реле времени типа ЭВ-144А; *15* — реле промежуточное типа РП-23; *16—18*— реле указательное типа РУ-21; *19—20* — переключатель; *21* — сопротивление добавочное.

Примечание. Цепи технологической блокировки показаны условно.

в) Общие положения и основные требования к защите синхронных электродвигателей

1. На синхронных двигателях применяются защиты: от междуфазных замыканий в статоре, от замыканий обмотки статора на землю, от перегрузки, от понижения напряжения и от асинхронного режима работы.

2. Защита двигателей должна обеспечивать мгновенное их отключение при внутренних повреждениях с помощью токовой отсечки или дифференциальной защиты.

Защита двигателей мощностью до 2 000 *квт* выполняется с помощью одного реле, включенного на разность токов двух фаз трансформаторов тока, и совмещается с защитой от перегрузки в одном реле типа РТ-80.

При недостаточной чувствительности токовой отсечки с одним реле применяется защита с двумя реле тока, включенными на фазные токи.

Продольная дифференциальная защита устанавливается на двигателях мощностью 5 000 *квт* и выше, имеющих необходимое количество выводов обмоток статоров.

Допускается применение дифференциальной защиты для ответственных двигателей мощностью менее 5 000 *квт*.

3. Защита от замыканий на землю предусматривается для двигателей в том случае, когда ток замыкания на землю превышает 10 *а*, и выполняется с действием без выдержки времени на отключение. В некоторых случаях для двигателей больших мощностей и ответственных применяется защита от замыкания на землю, начиная с тока замыкания на землю 5 *а* и выше.

Для защиты используется токовое реле типа ЭТ-521/0,2 для двигателей мощностью до 2 000 *квт* или ЭТД-551/60 для двигателей мощностью 2 000 *квт* и выше, присоединенное к ТНП.

4. Защита от перегрузки должна устанавливаться на тех двигателях, которые могут перегружаться по условиям технологического процесса.

Защита выполняется с помощью одного реле тока, включенного в одну из фаз трансформаторов тока.

Защита выполняется с выдержкой времени и при наличии дежурного персонала с действием на сигнал или на автоматическую разгрузку двигателя.

При отсутствии дежурного персонала защита от перегрузки может быть выполнена двумя реле тока, из которых одно реле, чувствительное по току срабатывания, действует на сигнал, а второе, более грубое по току срабатывания, действует на отключение.

5. Защита от понижения напряжения применяется на двигателях неответственных или малоответственных для обеспечения самозапуска ответственных двигателей и на двигателях, самозапуск которых не может быть обеспечен, или на двигателях, самозапуск которых недопустим по условиям техники безопасности или технологического процесса, а также при наличии АВР или блокировок.

Требования и условия выполнения защиты минимального напряжения аналогичны приведенным выше в § 4-8 п. «а» «Общие положения и основные требования к защите асинхронных электродвигателей».

Защита от асинхронного режима работы выполняется в виде максимальной токовой защиты с зависимой или независимой характеристикой, реагирующей на пульсирующие токи в статоре, возникающие при асинхронном режиме двигателя, или защиты, реагирующей на появление переменного тока в цепи ротора.

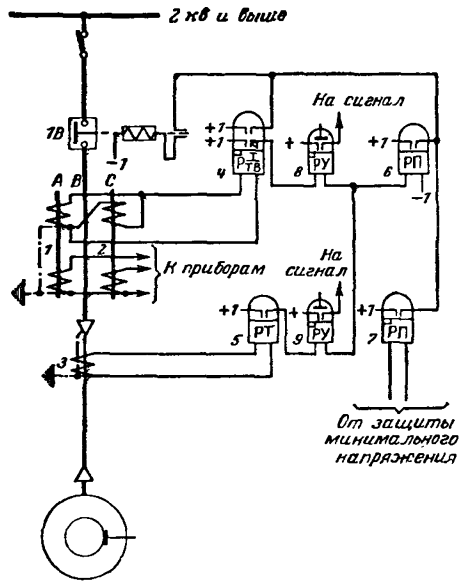


Рис. 4-44. Схема защиты неответственного синхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью ниже 2 000 *квт*, подверженного перегрузкам.
1—2 — трансформатор тока; *3* — трансформатор тока нулевой последовательности; *4* — реле тока типа РТ-84; *5* — реле тока типа ЭТ-521; *6* — реле промежуточное типа РП-23; *7* — реле промежуточное типа РП-24; *8—9* — реле указательное типа РУ-21.

Указанные защиты могут действовать на переключение обмотки возбуждения двигателя на гасительное сопротивление, у ответственных двигателей для возможности ресинхронизации, если это предусмотрено схемой и автоматикой.

Защита может действовать на отключение, если ресинхронизация или автоматический повторный пуск не предусмотрены.

В ряде случаев для облегчения условий втягивания двигателей в синхронизм действие защиты предусматривается на его разгрузку.

Действие защит тесно увязывается с автоматикой пуска двигателя.

г) Принципиальные схемы защиты синхронных электродвигателей напряжением 2 *кв* и выше

1. *Схема защиты неответственного синхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью ниже 2 000 квт, подверженного перегрузкам* (дробилка, шаровая мельница собственных нужд электростанций или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-44).

Типы защит:

а) токовая отсечка без выдержки времени — от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от перегрузки;

в) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от асинхронного режима работы;

г) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыкания на землю;

д) минимального напряжения с выдержкой времени — для облегчения самозапуска ответственных двигателей.

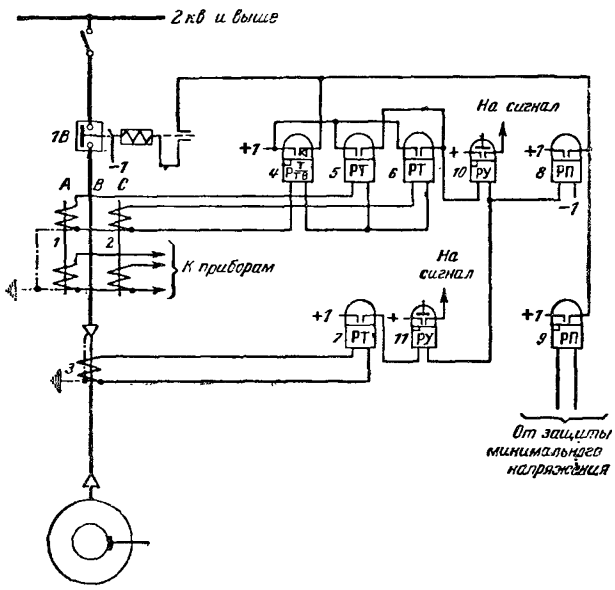


Рис. 4-45. Схема защиты ответственного синхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью ниже 5 000 *квт*, подверженного перегрузкам.

1—2 — трансформатор тока; *3* — трансформатор тока нулевой последовательности; *4* — реле тока типа РТ-82; *5—7* — реле тока типа ЭТ-521; *8* — реле промежуточное типа РП-23; *9* — реле промежуточное типа РП-24; *10—11* — реле указательное типа РУ-21.

Краткое описание

Токовая отсечка от междуфазных коротких замыканий выполнена с помощью одного реле типа РТ-84, включенного на разность токов двух фаз.

Для защиты от перегрузки используется индукционный элемент реле типа РТ-84 с действием на отключение.

Для защиты от асинхронного режима работы используется защита от перегрузки.

Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью одного реле тока типа ЭТ-521/02, подключенного к ТНП, и действует на отключение.

Защита минимального напряжения предусмотрена с выдержкой времени порядка 0,5 *сек* и действует на отключение. Защита питается от комплекта реле напряжения, общего для группы двигателей.

2. Схема защиты ответственного синхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью ниже 5 000 квт, подверженного перегрузкам (воздушные компрессоры промышленных установок или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-45).

Типы защит:

а) токовая отсечка без выдержки времени — от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от перегрузки;

в) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от асинхронного режима работы;

г) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыкания на землю;

д) минимального напряжения с выдержкой времени по условиям технологического процесса, по условиям техники безопасности или при наличии АВР.

Краткое описание

Токовая отсечка от междуфазных коротких замыканий выполнена с помощью двух реле типа ЭТ-521, включенных на фазные токи для повышения чувствительности защиты.

Защита от перегрузки выполнена с помощью одного реле типа РТ-82, которое используется одновременно и для защиты от асинхронного режима работы.

Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью одного реле типа ЭТ-521, включенного на ТНП.

Защита минимального напряжения предусматривается с выдержкой времени и питается от комплекта реле напряжения, общего для группы двигателей.

Все вышеуказанные защиты действуют на отключение.

3. *Схема защиты ответственного синхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью 2 000 квт и ниже, подверженного перегрузкам* (дробилки промышленных установок или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-46).

Типы защит:

а) токовая отсечка без выдержки времени — от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая с независимой выдержкой времени — от перегрузки;

в) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от асинхронного режима работы;

г) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени от замыкания на землю;

д) минимального напряжения с выдержкой времени — по условиям недопустимости самозапуска.

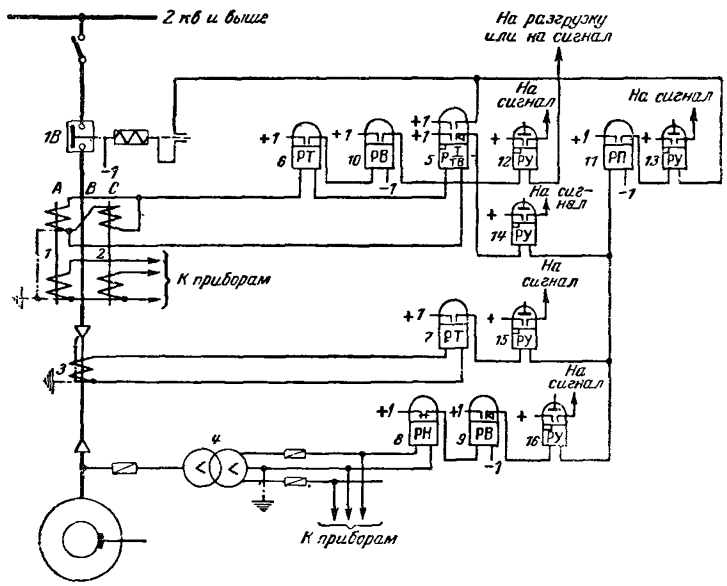


Рис. 4-46. Схема защиты ответственного синхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью 2 000 *квт* и ниже, подверженного перегрузкам.

1—2 — трансформатор тока; *3* — трансформатор тока нулевой последовательности; *4* — трансформатор напряжения; *5* — реле тока типа РТ-84; *6—7* — реле тока типа ЭТ-521; *8* — реле напряжения типа ЭН-529; *9—10* — реле времени типа ЭВ-133А; *11* — реле промежуточное типа РП-23; *12—16* реле указательное типа РУ-21.

Краткое описание

Токовая отсечка от междуфазных коротких замыканий выполнена с помощью одного реле типа РТ-84, включенного на разность токов двух фаз.

Индукционный элемент этого же реле используется для защиты от асинхронного режима работы двигателя. Защита действует на отключение.

Защита от перегрузки выполнена с помощью одного реле тока типа ЭТ-521, включенного последовательно с токовыми цепями реле типа РТ-84, и реле времени типа ЭВ-133А. Защита от перегрузки действует на сигнал или на разгрузку двигателя.

Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью одного реле тока типа ЭТ-521, включенного на ТНП. Защита действует на отключение.

Защита минимального напряжения выполнена с помощью одного реле напряжения с независимой выдержкой времени, питающегося от трансформаторов, присоединенных к двигателю, и действует на отключение.

4. Схема защиты ответственного синхронного электродвигателя 2 кв и выше мощностью 5 000 квт и выше, подверженного перегрузкам с реакторной схемой пуска (воздушные компрессоры промышленных установок или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-47).

Типы защит:

а) продольная дифференциальная токовая—от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от перегрузки;

в) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от асинхронной работы;

г) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыкания на землю;

д) минимального напряжения с выдержкой времени — по условиям технологического процесса, АВР или техники безопасности.

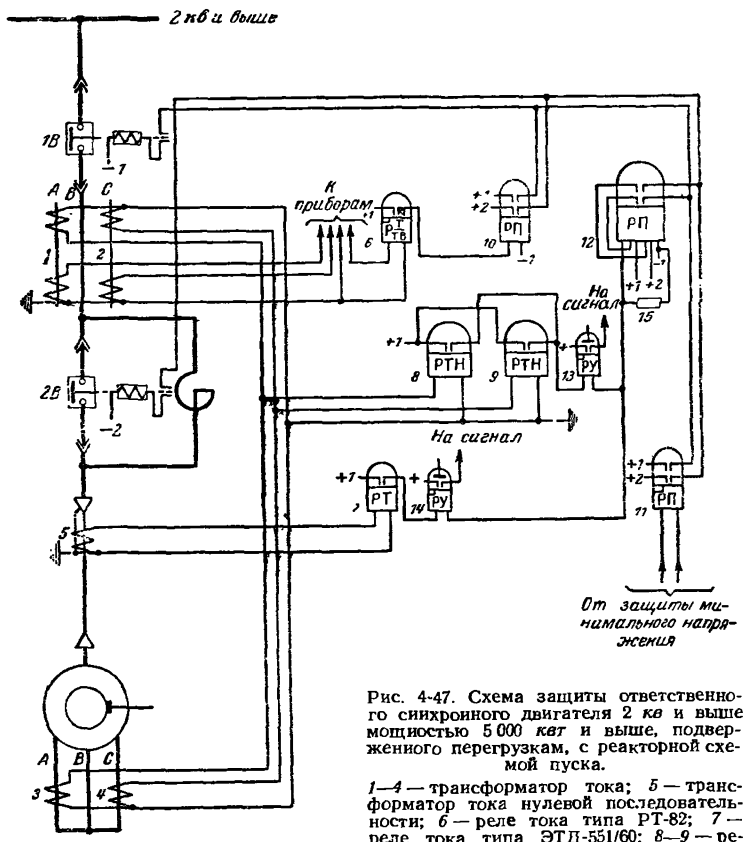


Рис. 4-47. Схема защиты ответственного синхронного двигателя 2 *кв* и выше мощностью 5 000 *квт* и выше, подверженного перегрузкам, с реакторной схемой пуска.

1—4 — трансформатор тока; *5* — трансформатор тока нулевой последовательности; *6* — реле тока типа РТ-82; *7* — реле тока типа ЭТД-551/60; *8—9* — реле дифференциальное типа РНТ-562; *10* — реле промежуточное типа РП-23; *11* — реле промежуточное типа РП-24; *12* — реле промежуточное типа РП-255; *13—14* — реле указательное типа РУ-21; *15* — сопротивление добавочное.

Краткое описание

Продольная дифференциальная токовая защита от междуфазных коротких замыканий выполнена с помощью дифференциальных реле типа РНТ-562 в двухфазном исполнении и является общей для двигателя и реактора. Защита действует на отключение выключателей.

Защита от перегрузки предусмотрена с помощью реле типа РТ-82 с одновременным использованием его для защиты от асинхронного режима работы.

Защита от однофазных замыканий на землю выполняется с одним реле тока типа ЭТД-551/60, включенным на ТНП.

Защита минимального напряжения предусматривается с выдержкой времени в целях исключения самозапуска после останова по условиям технологического процесса или техники безопасности, а также при наличии устройства АВР. Защита питается от комплекта реле напряжения, общего для группы двигателей.

Все перечисленные защиты действуют на отключение.

5. Схема защиты особо ответственного синхронного электродвигателя мощностью 5 000 квт и выше подверженного перегрузкам с реакторной схемой пуска (турбокомпрессоры промышленных установок или другие двигатели с аналогичными условиями работы) (рис. 4-48).

Типы защит:

а) продольная дифференциальная токовая — от междуфазных повреждений;

б) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от перегрузки;

в) максимальная токовая с ограниченно-зависимой характеристикой — от асинхронного режима работы;

г) максимальная токовая нулевой последовательности без выдержки времени — от замыканий на землю;

д) минимального напряжения с выдержкой времени — по условиям технологии производства или при наличии устройства АВР.

Краткое описание

Продольная дифференциальная токовая защита выполнена с помощью дифференциального реле типа РНТ-562 в трехфазном исполнении. Защита действует на отключение.

В схеме предусмотрен контроль исправности токовых цепей защиты с помощью одного реле тока типа

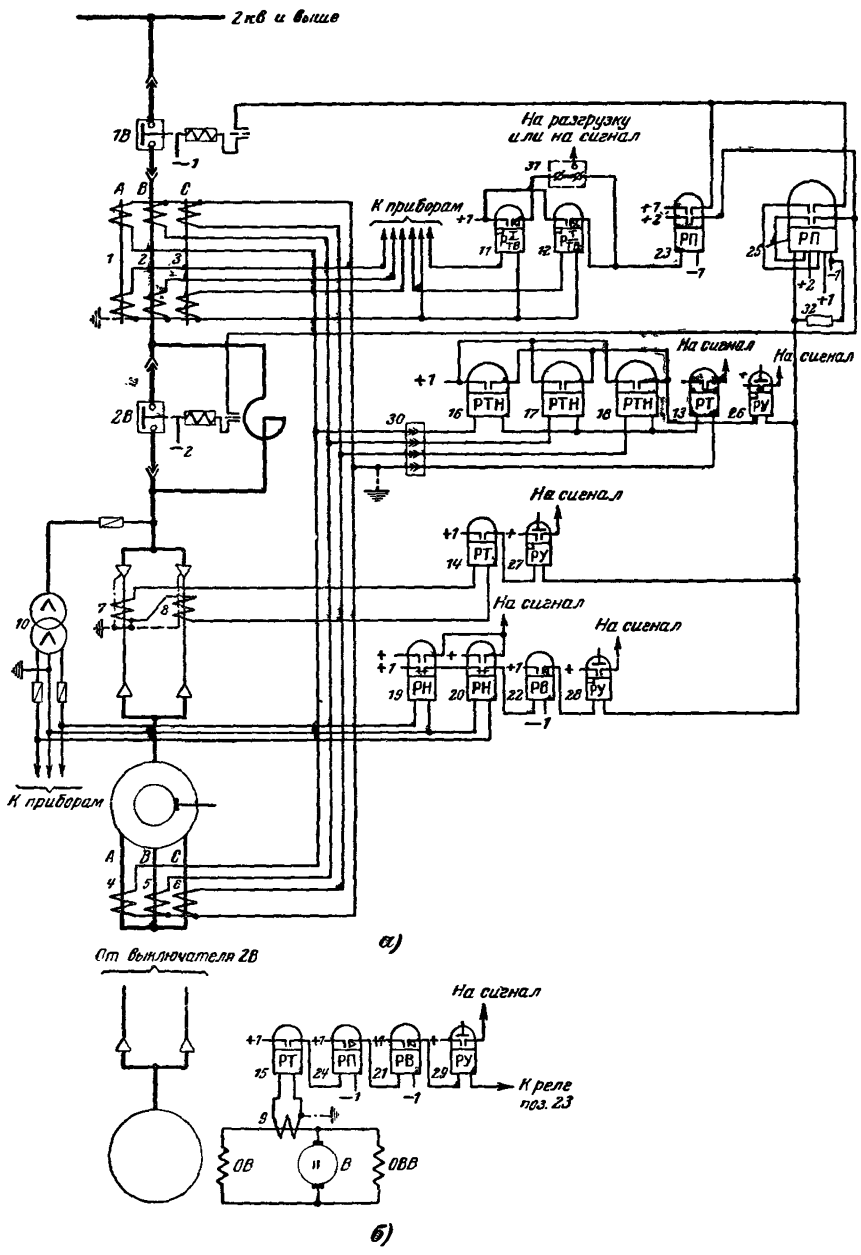


Рис. 4-48. Схема защиты особо ответственного синхронного электродвигателя 2 *кв* и выше мощностью 5 000 *квт* и выше, подверженного перегрузкам, с реакторной схемой пуска.

1—6 — трансформаторы тока; *7—8* — трансформатор тока нулевой последовательности; *9* — трансформатор тока; *10* — трансформатор напряжения; *11—12* — реле тока типа РТ-82; *13—15* — реле тока типа ЭТ-521; *16—18* — реле дифференциальное типа РНТ-562; *19—20* — реле напряжения типа ЭН-529; *21* — реле времени типа ЭВ-134А; *22* — реле времени типа ЭВ-133А; *23* — реле промежуточное типа РП-23; *24* — реле промежуточное типа РП-252; *25* — реле промежуточное типа РП-255; *26—29* — реле указательное типа РУ-21; *30* — блок испытательный типа БИ-4; *31* — отключающее устройство типа НКР-2; *32* — сопротивление добавочное.

ЭТ-521, включенного в нулевой провод реле дифференциальной защиты. Контроль действует с выдержкой времени на сигнал.

Защита от перегрузки выполнена с помощью реле типа РТ-82 с действием на отключение. Предусмотрена возможность включения защиты на сигнал или на разгрузку. Защита от асинхронного режима работы выполнена с помощью реле тока типа РТ-82 с действием на отключение.

На рис. 4-48,*б* показана токовая защита, реагирующая на появление переменного тока в цепи ротора. В нормальном режиме ток во вторичной обмотке трансформатора тока отсутствует и защита не действует. При асинхронном режиме работы в роторе индуктируется переменный ток, который трансформируется и подается в реле тока типа ЭТ-521, подключенное через трансформатор тока. Защита действует с выдержкой времени на отключение.

Для предотвращения возврата реле времени в момент спада тока в схеме предусмотрено промежуточное реле с замедлением на возврат.

Указанная схема применяется обычно для ответственных двигателей имеющих ресинхронизацию.

Защита от однофазных замыканий на землю выполнена с помощью одного реле тока типа ЭТД-551/60, включенного на ТНП.

Защита минимального напряжения выполнена с помощью двух реле напряжения, действующих с выдержкой времени на отключение. Обмотки реле напряжения включены на междуфазные напряжения трансформатора напряжения у синхронного двигателя. Оперативные контакты реле напряжения соединены последовательно в целях предотвращения ложной работы защиты при перегорании предохранителя трансформатора напряжения.

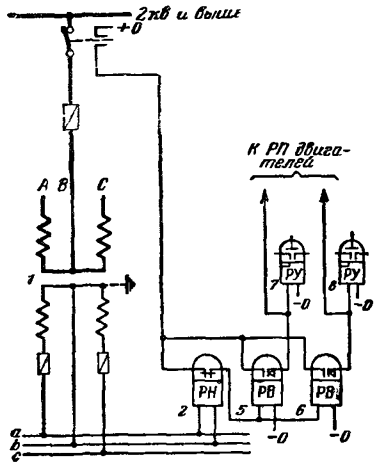
В схеме предусмотрена сигнализация при нарушении цепей напряжения.

6. *Схема защиты электродвигателей от понижения напряжения* (рис. 4-49).

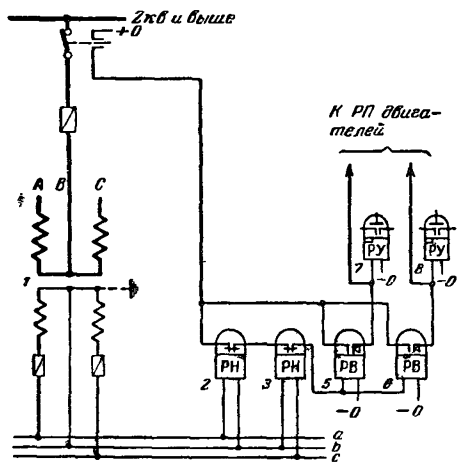
Краткое описание

Защита с одним реле напряжения, включенным на междуфазное напряжение трансформатора напряжения, приведена на рис. 4-49,*а*.

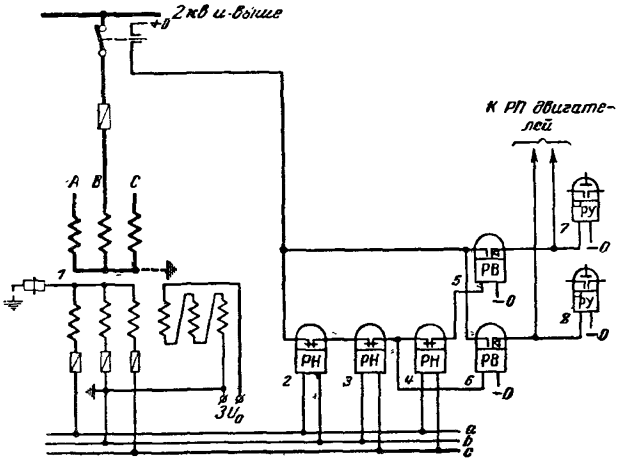
Защита предназначена для группы двигателей и имеет два реле времени. В зависимости от необходимости цепь к промежуточному реле, установленному



а)



б)



в)

Рис. 4-49. Схема защиты электродвигателей от понижения напряжения.

1 — трансформатор напряжения; *2—4* — реле напряжения типа ЭН-529; *5—6* — реле времени типа ЭВ-133А; *7—8* — реле указательное типа РУ-21.

у электродвигателя, подается от реле времени с большей или меньшей уставкой по времени. Данная схема применяется для защиты неответственных электродвигателей.

Защита с двумя реле напряжения, включенными на разные междуфазные напряжения одного комплекта трансформаторов напряжения, приведена на рис. 4-49,б. Контакты обоих реле соединены последовательно. Поэтому при перегорании одного из предохранителей в цепи реле защита не может подать импульс на отключение электродвигателей.

Как и в схеме рис. 4-49,*а*, предусмотрены два реле времени, контакты которых при срабатывании подают импульс на промежуточные реле, установленные у электродвигателей.

Данная схема применяется для защиты как ответственных, так и неответственных электродвигателей.

Защита с тремя реле напряжения, включенными на междуфазные напряжения трехфазного пятистержневого трансформатора напряжения, приведена на рис. 4-49,*в*.

В схеме предусмотрены два реле времени с различными уставками по времени, действующие на промежуточные реле, установленные у электродвигателей.

Данная схема применяется для защиты электродвигателей собственных нужд электростанций и ответственных электродвигателей промышленных установок.

Во всех вышеуказанных схемах защиты минимального напряжения предусмотрено присоединение оперативного тока защиты через блок-контакты разъединителей трансформаторов напряжения для предотвращения действия защиты при отключении разъединителей.

4-9. ЗАЩИТА ЛИНИЙ 3—6—10 *кв*

На линиях 3—6—10 *кв* предусматривается релейная защита от следующих видов повреждений:

а) междуфазных коротких замыканий с действием на отключение.

б) замыканий на землю с действием на сигнал.

Защита от междуфазных коротких замыканий

Защита выполняется на токовом принципе.

На рис. 4-50 приведены возможные варианты выполнения защиты ЛЭП 3—6—10 *кв* от междуфазных повреждений:

а) токовая защита в двухфазном исполнении с независимой выдержкой времени;

б) токовая защита с включением токового реле на разность фазных токов с независимой выдержкой времени;

в) токовая защита с включением токового реле с ограниченно-зависимой характеристикой (реле типа ИТ-80) на разность токов двух фаз;

г) токовая отсечка и токовая защита с независимой выдержкой времени в двухфазном исполнении.

Защита по схеме п. «а» используется на кабельных линиях 3—6—10 *кв* в том случае, если выполнение защиты на разность фазных токов не обеспечивает требуемой чувствительности. Во всех других случаях, за исключением перечисленных ниже, применяется защита по схеме п. «б».

При возможности установки защиты с комбинированной характеристикой (отсечка и резервная токовая защита), как правило, должна использоваться схема согласно п. «в».

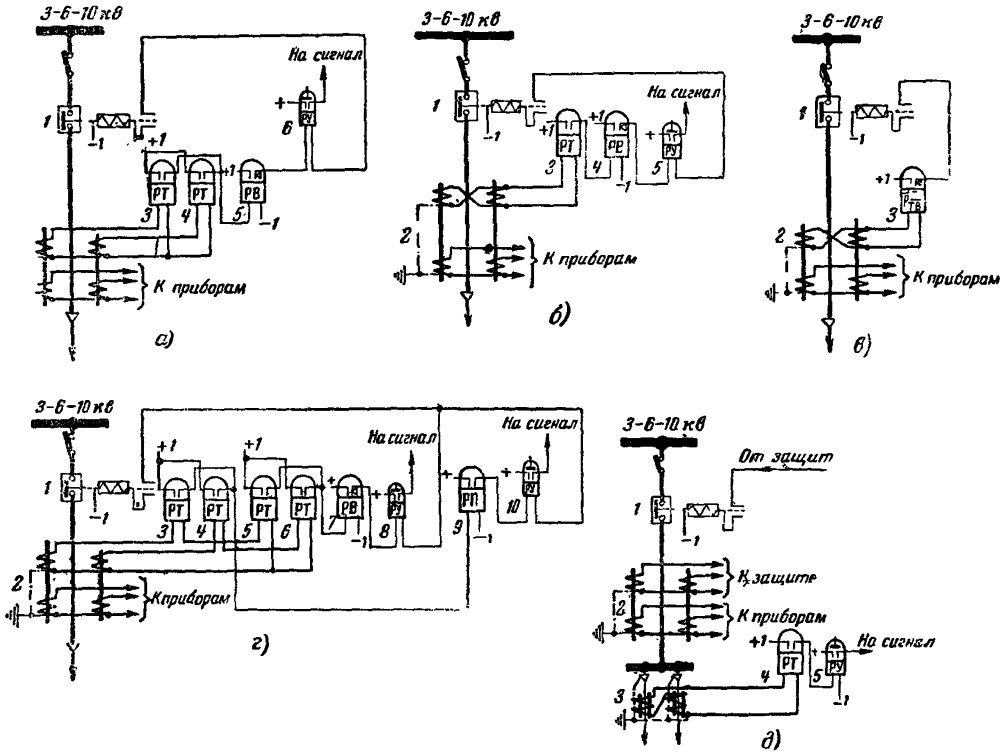


Рис. 4-50. Схемы защиты линий 3—10 *кв*.

а—с двумя токовыми реле с независимой выдержкой времени: *1*—выключатель; *2*—трансформаторы тока; *3*—*4*—реле тока типа ЭТ-521; *5*—реле времени типа ЭВ-124А; *6*—реле указательное типа РУ-21; *б*—с одним токовым реле с независимой выдержкой времени: *1*—выключатель; *2*—трансформаторы тока; *3*—реле тока типа ЭТ-521; *4*—реле времени типа ЭВ-124А; *5*—реле сигнальное типа РУ-21; *в*—с одним токовым реле с зависимой выдержкой времени: *1*—выключатель; 2—трансформатор тока; *3*—реле тока типа ИТ-80; *г*—с токовой отсечкой и максимальной токовой защитой: *1*—выключатель; *2*—трансформаторы тока; *3*—*6*—реле тока типа ЭТ-521; *7*—реле времени типа ЭВ-124А; *8*, *10*—реле указательное типа РУ-21; *9*—реле промежуточное типа РП-23; *д*—от замыканий на землю: *1*—выключатель; *2*—трансформатор тока; *3*—трансформатор тока нулевой последовательности; *4*—реле тока типа ЭТД-551; *5*—реле указательное типа РУ-21.

Если использование реле с ограниченно-завнсимой характеристнкой (ИТ-80) вызывает затруднения в части согласования защит пнтающей сетн, необходимо примененне схем согласно п. «г».

Защита от замыканий на землю.

Защита выполнена токовой нулевой последовательности.

Реле тока типа ЭТД-551/60 с трансформатором тока тнпа ТЗЛ (нлн ТЗ, ТЗР и др.). Прн наличнн нескольких кабелей вторичные обмотки трансформаторов тока соединяются последовательно.

Защита устанавлнвается в сетях 3—6—10 *кв* при условнн, что суммарный ток замыкания на землю (при наличин компенсацнн нлн без нее) сети равен или превышает 10 *а*.

4-10. ЗАЩИТА ЛИНИЙ 35 *кв*

а) Общие положения

В настоящем разделе представлены схемы защит от междуфазных повреждений линий 35 *кв*, работающих в сетях с малыми токамн замыкання на землю.

Схемы выполнены с нспользованнем комплектных реле. выпускаемых Чебоксарскнм электроаппаратным заводом. В случае отсутствня комплектных реле схемы могут быть также осуществлены на реле сернйного изготовления этого же завода.

Для обеспечения отключення одного места повреждения в большинстве случаев двойных замыканий на землю защиты имеют двухфазное исполнение. Резервная максимальная токовая защита имеет трехрелейное исполнение (третье реле включается на сумму токов двух фаз).

Представленные схемы защит в основном предназначены для линнй, работающнх в сетях сравнительно простой конфигурацин.

Для линий кольцевой сетн с многосторонним питаннем, как правнло, используются комплектные панели Чебоксарского завода ПЗ-152 н ПЗ-153.

Большинство схем защнты имеет токовые пусковые органы, поскольку в сетях 35 *кв* кратности токов к. з., как правило, значительны.

Одна схема защиты выполнена с комбинированными пусковыми органами по току и напряженню для тупнковой линнн как нанболее вероятное решение прн установке на подстанцин трансформаторов большой мощности.

Представленные схемы АПВ предназначены для лнний с односторонним питаннем.

б) Принципиальные схемы защит

1. Схема трехступенчатой токовой защиты от многофазных к. з. с трехфазным АПВ (рнс. 4-51). Схема предназначается для использования на головных участ-

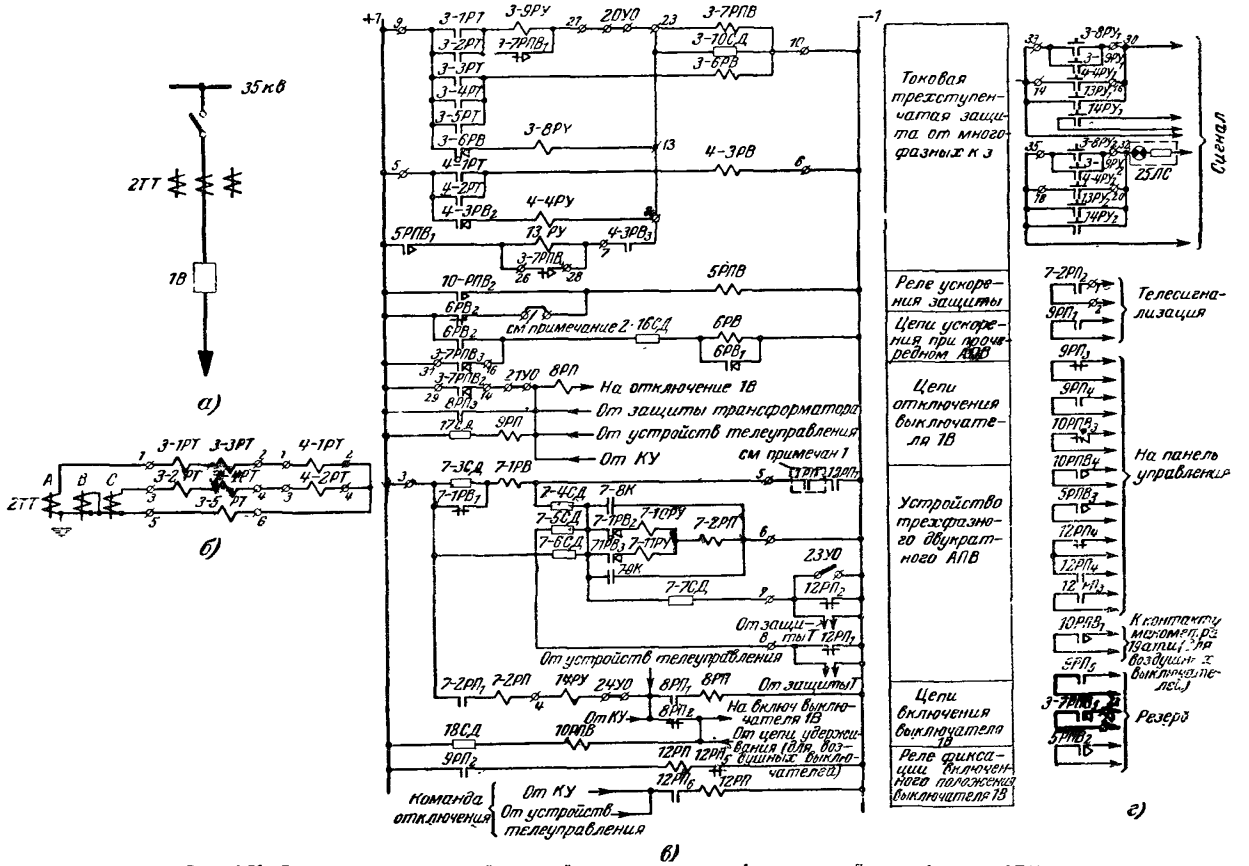


Рис. 4-51. Схема трехступенчатой токовой защиты от многофазных к. з. с трехфазным АПВ.

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи оперативного постоянного тока; *г* — цепи сигнализации; *1* — выключатель; *2* — трансформаторы тока; *3* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-3; *4* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-2; *5, 10* — реле промежуточное типа РП-252; *6* — реле времени типа ЭВ-144А; *7* — реле АПВ типа РПВ-258; *8* — реле промежуточное типа РП-232; *9* — реле промежуточное типа РП-23; *12* — реле промежуточное типа РП-352; *13, 14* — реле указательное типа РУ-21, *16—18* — сопротивление добавочное; *20—24* — отключающее устройство типа НКР-2; *25* — лампа сигнальная.

Примечания. 1. На линиях, оборудованных воздушными выключателями, в цепи пуска АПВ (контакт реле *1РП*) используется контакт реле, контролирующего давление (19 *ат*) и положение выключателя. На линиях, оборудованных масляными выключателями, в цепи пуска АПВ вместо контакта *1РП* используется контакт реле (поз. *10*) положения выключателя РПО. В этом случае указанное реле должно быть принято типа РП-23.

2. Перемычка снимается, если поочередное АПВ на линии не предусматривается.

ках линий с односторонним питанием в сетях с токами к. з., значительно превышающими токи нагрузки.

Схема защиты увязана со схемой АПВ с целью возможного осуществления поочередного автоматического включения двух участков линий, что позволяет сократить выдержку времени основной защиты ЛЭП.

Предусмотренная в схеме аппаратура поочередного АПВ при осуществлении обычного трехфазного АПВ не используется.

Максимальная токовая отсечка без выдержки времени и третья ступень токовой защиты с выдержкой времени осуществляются одним комплектным реле типа КЗ-3 (реле *3*).

Вторая ступень защиты — резервная максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени — осуществлена на комплектном реле типа КЗ-2 с двумя реле тока (реле *4*).

Реле времени *6* типа ЭВ-144А необходимо при осуществлении поочередного АПВ.

Мгновенный размыкающий контакт этого реле в нормальном режиме подает плюс на реле ускорения защиты (реле *5РПВ*). Находясь под напряжением, это реле держит контакты замкнутыми в цепи ускорения второй ступени защиты (в цепи мгновенного замыкающего контакта реле времени $4\text{-}3РВ_3$).

После первого срабатывания защиты подается импульс на реле времени *6РВ* (контактом $3\text{-}7РПВ_3$).

Переключаются мгновенные контакты реле времени: замыкающий контакт осуществляет самоудерживание реле времени, размыкающий контакт разрывает цепь, идущую от шинки плюса к обмотке промежуточного реле. Однако реле ускорения *5РПВ* не обесточивается, поскольку реле положения *10РПВ* при отключенном выключателе находится под напряжением и своим замыкающим контактом $10РПВ_2$ шунтирует размыкающий мгновенный контакт реле времени. Этим самым дается возможность подействовать второй ступени защиты без выдержки времени через цепи ускорения. Через время, обусловленное временем возврата *5РПВ* порядка 0,2—0,3 *сек*, цепь ускорения защиты будет разорвана и восстановится только после самодеблокировки реле времени *6РВ*. За время деблокировки реле времени должно произойти повторное включение последующего участка и в случае неуспешного АПВ его отключение. В связи с этим реле времени *6РВ* принято

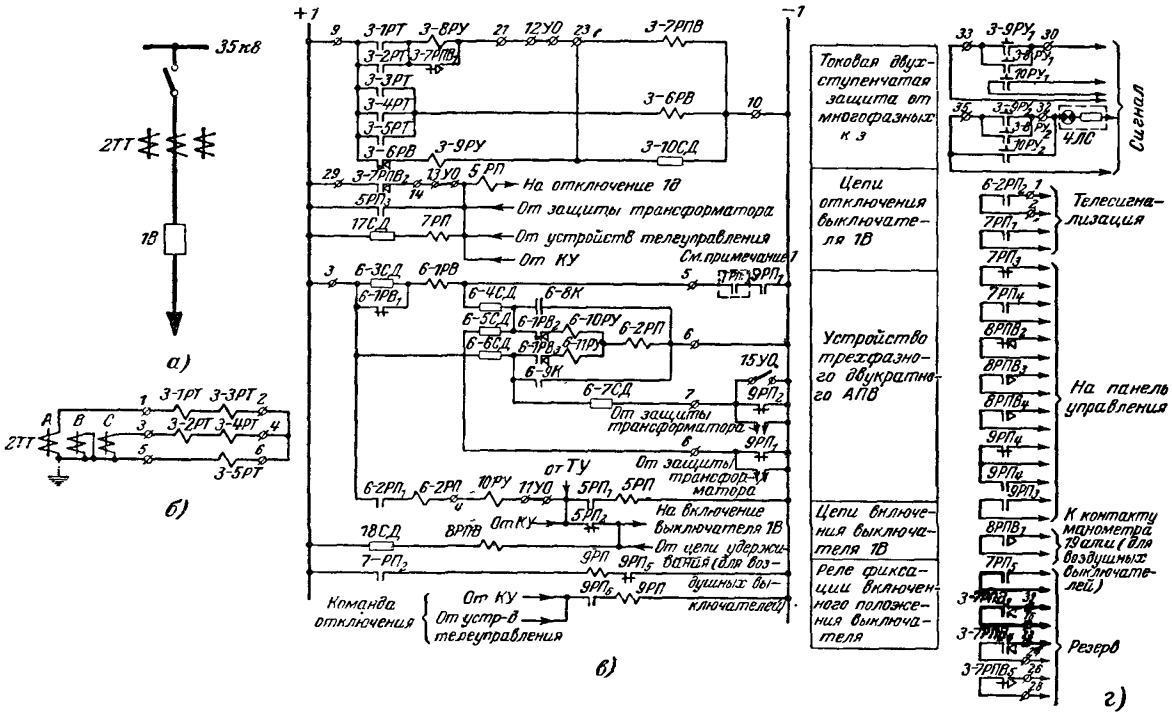


Рис. 4-52. Схема двухступенчатой токовой защиты с выдержкой времени с трехфазным АПВ.

а—поясняющая схема; *б*—цепи переменного тока; *в*—цепи оперативного постоянного тока; *г*—цепи сигнализации; *1*—выключатель; *2*—трансформаторы тока; *3*—комплект защиты (блок реле) типа КЗ-3; *4*—лампа сигнальная; *5*—реле промежуточное типа РП-232; *6*—реле АПВ типа РПВ-258; *7*—реле промежуточное типа РП-23; *8*—реле промежуточное типа РП-252; *9*—реле промежуточное типа РП-352; *10*—реле указательное типа РУ-21; *11—15*—отключающее устройство типа НКР-2; *17—18*—сопротивление добавочное.

Примечание. См. примечание 1 к рис. 4-51.

со шкалой, имеющей пределы регулнрования до 20 *сек* (типа ЭВ-144А).

На панели устанавливается реле двукратного действия для автоматического повторного включения лнии типа РПВ-258. Дополнительно располагается оборудование цепей управления выключателем линии: реле положения *РПО* и *РПВ* (реле *10* и *9*); реле фиксацин включенного положения выключателя (реле *12*). Необходимость в установке реле *12* определяется универсальностью рассматриваемой панелн: она пригодна для подстанцнй, управляемых со щита ключамн с фиксированным положением рукоятки, а также для унифицированных объектов, либо имеющих телеуправление, либо оборудованных ключамн управления с самовозвратом.

На телеуправляемых подстанциях при подаче телеимпульса на отключение одновременно производнтся по каналам телемеханики срабатывание реле *12РП*, контактамн которого $12РП_1$ н $12РП_2$ разряжаются конденсаторы *7-8К* н *7-9К* в реле повторного включения, так как осуществляется блокировка АПВ.

Предусмотренное на панели релейное оборудование позволяет осуществить АПВ как на масляных, так и на воздушных выключателях. Специфика устройства автоматического включення воздушных выключателей заключается в том, что пуск схемы АПВ осуществляется от реле, контролнрующего не только положение выключателя, но и наличие в воздушной системе давления не нпже 19 *ат*. Указанное необходимо для надежного двукратного гашения дуги в выключателе, что может иметь место при неуспешном АПВ.

В рассматриваемой схеме двукратного АПВ включение выключателя во втором цикле разрешается при меньшем давлении, но не нпже 16 *ат*, поскольку неуспешное АПВ потребует расхода воздуха только на отключение одного к. з. Для целей шунтирования контактов манометра, контролирующего наличие давления, превышающего 19 *ат*, используется реле положения выключателя *РПО* в цепи включения выключателя, имеющее задержку на отпадание для более надежной подачи блокирующего импульса. Прн этом необходнмо отметить, что операции по включению н отключению воздушных выключателей контролируются манометром, размыкающим свои контакты при давлении, меньшем 16 *ат*.

Для целей сигнализации на ряд зажимов панели выводятся контакты указательных реле и промежуточных реле.

2. Схема двухступенчатой токовой защиты с выдержкой времени с трехфазным АПВ (рнс. 4-52).

Схема предназначается для использования на тупиковых линнях с односторонним питанием в сетях с токами к. з., значительно превышающими токи нагрузки.

Схема осуществляется одним комплектным реле типа КЗ-3 (реле *3*). Отсечка, как правило, отстраивается от повреждений на стороне низшего напряжеиия трансформатора; неселективное действие отсечки прн повреждении в трансформаторе исправляется АПВ; для обеспечення надежного действия защиты трансформаторов приемной подстанции необходимо предусмотреть в схемах этих защит самоудерживание выходных реле.

Устройство АПВ выполнено двукратным с использованнем реле РПВ-258. Прн отсутствин необходнмости в двукратном повторном включении отключающее

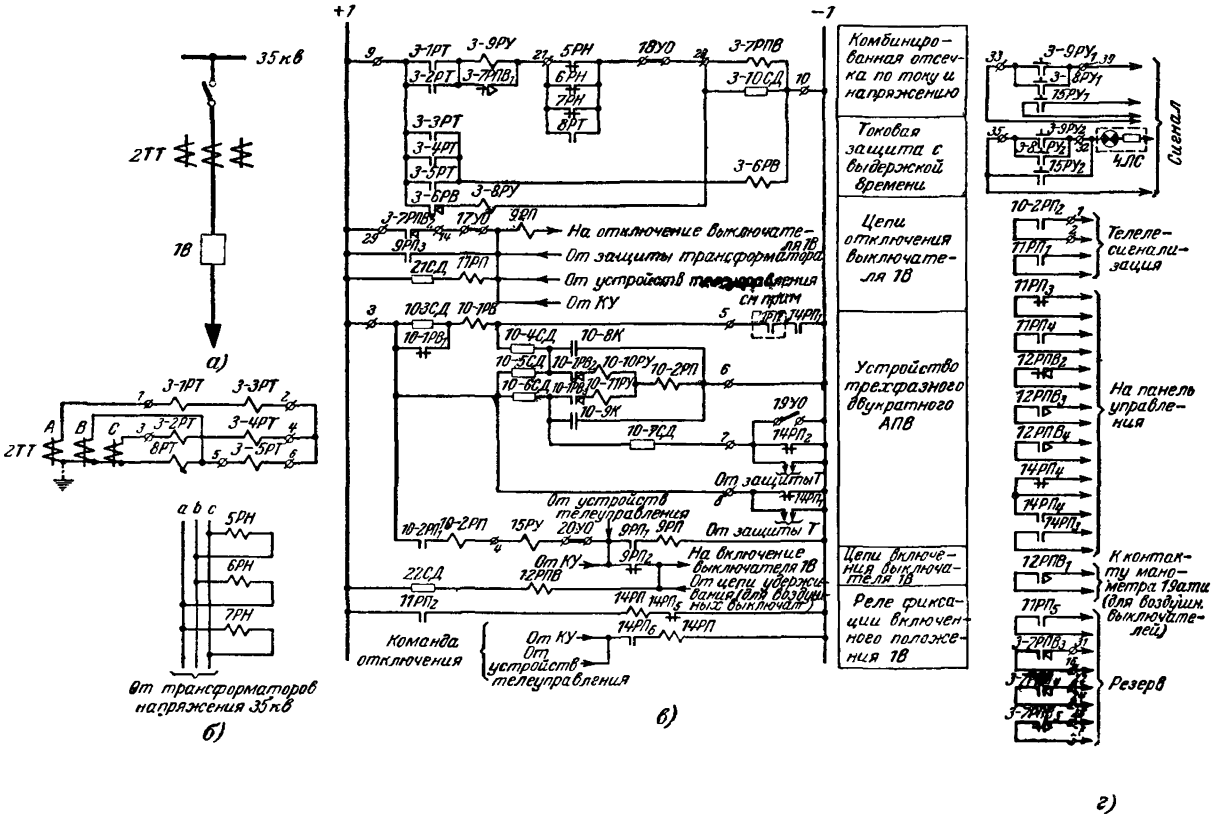


Рис. 4-53. Схема комбинированной отсечки по току и напряжению без выдержки времени и токовой защиты с выдержкой времени с трехфазным АПВ.

а—поясняющая схема; *б*—цепи переменного тока и напряжения; *в*—цепи оперативного постоянного тока; *г*—цепи сигнализации; *1*—выключатель; *2*—трансформаторы тока; *3*—комплект защиты (блок реле) типа КЗ-3; *4*—лампа сигнальная; *5*—*7*—реле напряжения типа ЭН-526; *8*—реле тока типа ЭТ-521; *9*—реле промежуточное типа РП-232; *10*—реле АПВ типа РПВ-258; *11*—реле промежуточное типа РП-23; *12*—реле промежуточное типа РП-252; *14*—реле промежуточное типа РП-352; *15*—реле указательное типа РУ-21; *17*—*20*—отключающее устройство типа НКР-2; *21*—*22*—сопротивление добавочное.

Примечание. См. примечание 1 к рис. 4-51.

устройство *15УО* должно быть замкнуто. Для воздушных выключателей предусматриваются блокировки, аналогичные блокировкам, примененным в схеме защиты, приведенной на рис. 4-51.

3. Схема комбинированной отсечки по току и напряжению без выдержки времени и токовой защиты с выдержкой времени с трехфазным АПВ (рис. 4-53).

Защита используется на тупиковых ЛЭП при кратностях токов к. з., значительно превышающих токи нагрузки, при установке на приемной подстанции трансформаторов относительно большой мощности.

В схеме используются комплектное устройство типа КЗ-3 (реле *3*) и реле повторного включения РПВ-258, позволяющее осуществить двукратное АПВ.

Контакты токовых реле, встроенных в кожух КЗ-3, соединяются последовательно с контактами реле напряжения (реле *5*—*7*), что в целом составляет комбинированную отсечку по току и напряжению. Для обеспечения надежного действия этой защиты при двойных замыканиях на землю, когда снижение линейных напряжений может оказаться незначительным, предусматривается шунтирование контактов реле напряжения контактами токового реле (*8РТ*), включенного на фильтр токов нулевой последовательности.

В остальном построение схемы аналогично схемам, представленным на рис. 4-51 и 4-52.

4. Схема одноступенчатой токовой направленной защиты без выдержки времени с трехфазным АПВ (рис. 4-54).

Защита используется для приемного конца головных участков кольцевых линий с одной точкой питания и для приемного конца параллельных линий с односторонним питанием при отсутствии в потребительской сети синхронных двигателей, посылающих токи повреждения при внешних к. з., достаточных для срабатывания рассматриваемой защиты.

На панели используются реле, встроенные в комплектный кожух типа КЗ-4Б (реле *5*), который является модификацией комплекта КЗ-4 (замена реле времени на промежуточное реле). Направленность защиты обеспечивается реле мощности типа ИМБ-171/1, включенным по 90-градусной схеме.

Трехфазное АПВ однократного действия осуществляется реле типа РПВ-58 (реле *7*).

5. Схема двухступенчатой токовой направленной защиты с трехфазным АПВ (рис. 4-55).

Схема применяется на кольцевых линиях с одной точкой питания и на радиальных линиях с двусторонним питанием; обе ступени защиты выполняются с выдержкой времени; предусмотренное трехфазное АПВ без контролирующих устройств предполагает возмож-

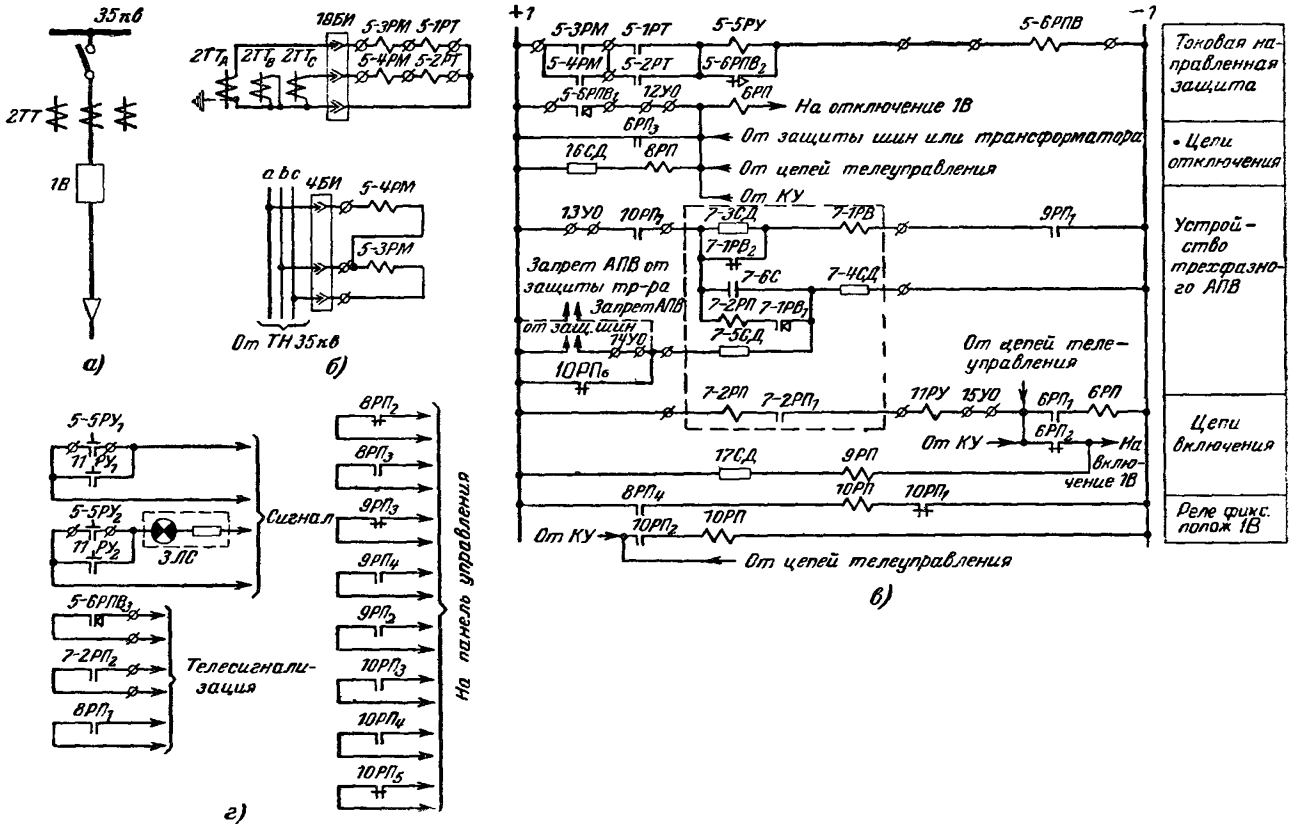


Рис. 4-54. Схема одноступенчатой токовой направленной защиты без выдержки времени с трехфазным АПВ.

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока и напряжения; *в* — цепи оперативного постоянного тока; *г* — цепи сигнализации; *1* — выключатель; *2* — трансформаторы тока; *3* — лампа сигнальная; *4* — испытательный блок типа БИ; *5* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-4Б; *6* — реле промежуточное типа РП-232; *7* — реле АПВ типа РПВ-58; *8, 9* — реле промежуточное типа РП-23; *10* — реле промежуточное типа РП-352; *11* — реле указательное типа РУ-21; *12—15* — отключающее устройство типа НКР-2; *16—17* — сопротивление добавочное; *18* — испытательный блок типа БИ.

Примечание. В части цепей управления выключателем и АПВ схема предусмотрена для масляных выключателей.

ность осуществления несинхронного АПВ или наличие надежных электрических связей между подстанциями, соединяемыми линией, где применяется рассматриваемая защита.

Первая ступень токовой направленной защиты осуществляется комплектным реле типа КЗ-4 (реле *3*), содержащим реле направления мощности типа ИМБ-171/1, реле тока, реле времени типа ЭВ-124 и три указательных реле. Реле мощности включаются по 90-градусной схеме.

Вторая ступень токовой направленной защиты осуществляется комплектным реле типа КЗ-2 (реле *4*).

Направленность защиты создается реле мощности, встроенным в комплектный кожух КЗ-4.

Принимая во внимание, что вторая ступень защиты выполняется трехрелейной для обеспечения большей чувствительности защиты к повреждениям на стороне низшего напряжения трансформаторов с соединением обмоток звезда-треугольник, а реле мощности имеются только в двух фазах, в схеме предусмотрена взаимная блокировка пусковых токовых органов *4-1РТ* и *4-2РТ* в цепях оперативного тока для соблюдения полярности направленной защиты. Второе указательное реле в комплекте КЗ-4 (реле *3-7РУ*) используется в цепях ускорения первой ступени защиты. Трехфазное АПВ осуществляется с помощью реле РПВ-58 (реле *7*).

6. Схема поперечной дифференциальной направленной защиты с трехфазным АПВ (рис. 4-56).

Защита используется на параллельных линиях с односторонним питанием со стороны приемной подстанции. В сочетании с комплектной панелью дистанционной защиты (типа ПЗ-152 или ПЗ-153) может использоваться на параллельных линиях в сетях любой конфигурации.

Защиту осуществляют с помощью комплектного реле, содержащего реле направления мощности двустороннего действия, токовые пусковые органы, реле положения в цепи отключения выключателей (реле *РПВ*), выходные промежуточные (реле *5—7РПВ* и *5—8РПВ*) и указательные реле (реле *5—9РУ* и *5—10РУ*).

Рассматриваемая защита может быть осуществлена также на реле, изготавливаемых Чебоксарским заводом россыпью, а именно: реле мощности типа РБМ-271/1, реле тока типа ЭТ-521, реле промежуточных выходных типа РП-252, реле положения типа РП-23, реле указательных типа РУ-21.

Снятие постоянного тока с защиты для обеспечения правильного ее действия при отключении одной из параллельных линий осуществляется контактами реле положения.

Постоянный ток на поперечную дифференциальную защиту подается через размыкающие контакты выход-

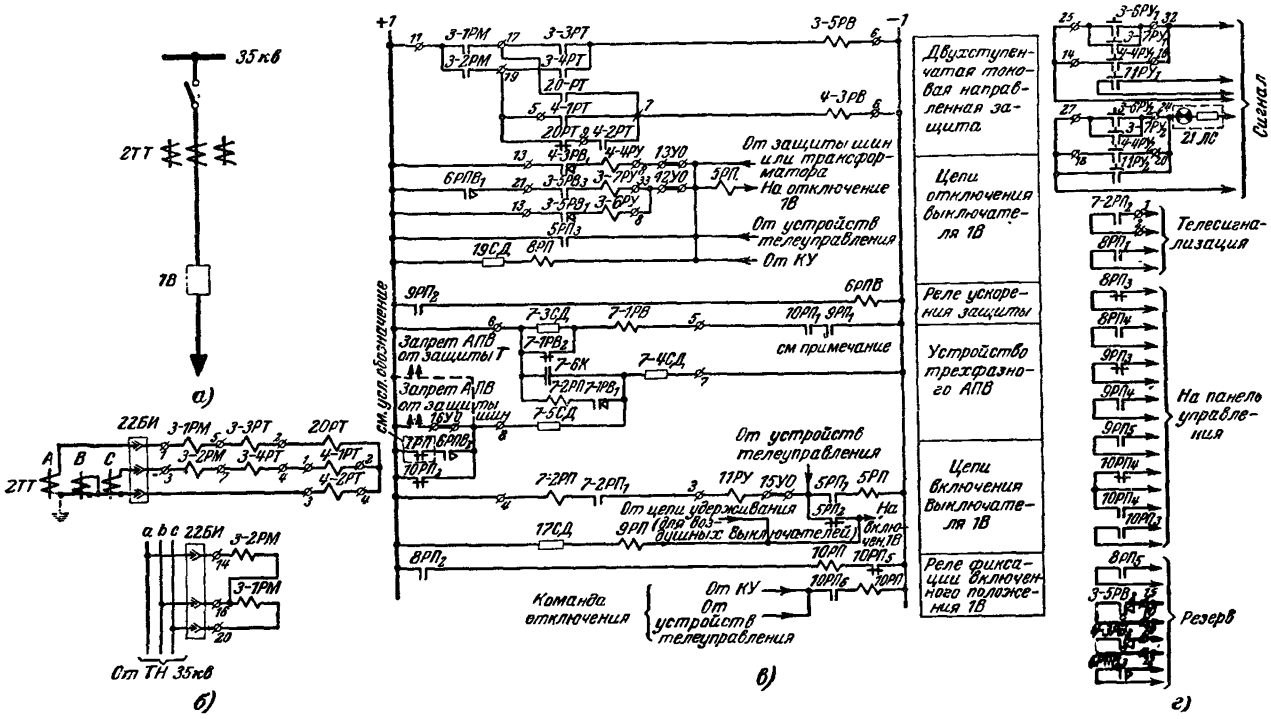


Рис. 4-55. Схема двухступенчатой токовой направленной защиты с трехфазным АПВ.

а—поясняющая схема; *б*—цепи переменного тока и напряжения; *в*—цепи оперативного постоянного тока; *г*—цепи сигнализации; *1*—выключатель; *2*—трансформатор тока; *3*—комплект защиты (блок реле) типа КЗ-4; *4*—комплект защиты (блок реле) типа КЗ-2; *5*—реле промежуточное типа РП-232; *6*—реле промежуточное типа РП-252; *7*—реле АПВ типа РПВ-58; *8*—*9*—реле промежуточное типа РП-23; *10*—реле промежуточное типа РП-352; *11*—реле указательное типа РУ-21; *12*—*16*—отключающее устройство типа НКР-2; *17*—*19*—сопротивление добавочное; *20*—реле тока типа ЭТ-521; *21*—лампа сигнальная; *22*—испытательный блок типа БИ; *1РП*—контакт реле, контролирующего избыточное давление (19 *ат*) и положение выключателя, разомкнутый при отключенном выключателе, если к моменту отключения избыточное давление воздуха было не менее 19 *ат*; на линиях, оборудованных масляными выключателями, указанная цепь разорвана.

Примечание. На линиях, оборудованных воздушными выключателями, в цепи пуска АПВ (контакт реле $9РП_1$) используется контакт реле, контролирующего давление (19 *ат*) и положение выключателя.

ных промежуточных реле защиты шин или защиты трансформатора (для схемы *мостика*) в том случае, если действие защит этих элементов предполагает отключение выключателей параллельных линий с замедлением. Такое действие защит трансформаторов или шин в свою очередь диктуется необходимостью сохранения селективности поперечной дифференциальной защиты на противоположном конце параллельных линий при установке медленно действующих выключателей 35 *кв*.

В целях уменьшения числа связей по оперативным цепям на панели запроектировано два устройства автоматического повторного включения — по одному на каждую линию.

Повторное включение осуществляется на реле типа РПВ-58 (реле *7* и *9*).

7. Схема поперечной дифференциальной направленной защиты и трехступенчатой токовой защиты, включенной на сумму токов двух линий с трехфазным АПВ (рис. 4-57).

Защита применяется с питающей стороны параллельных линий с односторонним питанием и на головных участках параллельных линий, работающих в кольцевой сети.

Схема содержит комплектные устройства, предусматриваемые в схемах рис. 4-56. Первая ступень токовой защиты без выдержки времени в режиме работы двух параллельных линий выведена из действия (контакты реле времени *8РВ*) и вводится в работу только при отключении одной из параллельных цепей.

Реле времени, производящее блокировку, управляется контактами реле положения РПО в цепи выключателя (реле *15РП* и *16РП*). Введение выдержки времени в блокирующие цепи первой ступени защиты необходимо для обеспечения ее селективности.

4-11. ЗАЩИТА ЛИНИЙ 110—154—220 кв

а) Общие положения

1. Приведенные ниже схемы защит для линий, работающих в сетях с большими токами замыкания на землю, к которым относятся ЛЭП 110—154—220 *кв*, в основном предназначены для резервных защит, но в отдельных случаях могут быть использованы и в качестве основных защит.

2. В сетях напряжением 110 *кв* и выше кратности токов к. з., как правило, незначительно превышают токи нагрузки, поэтому предусматривается выполнение резервных защит от междуфазных повреждений на дистанционном принципе. Для радиальных линий с односторонним питанием предусмотрены токовые многоступенчатые защиты от междуфазных к. з. От замы-

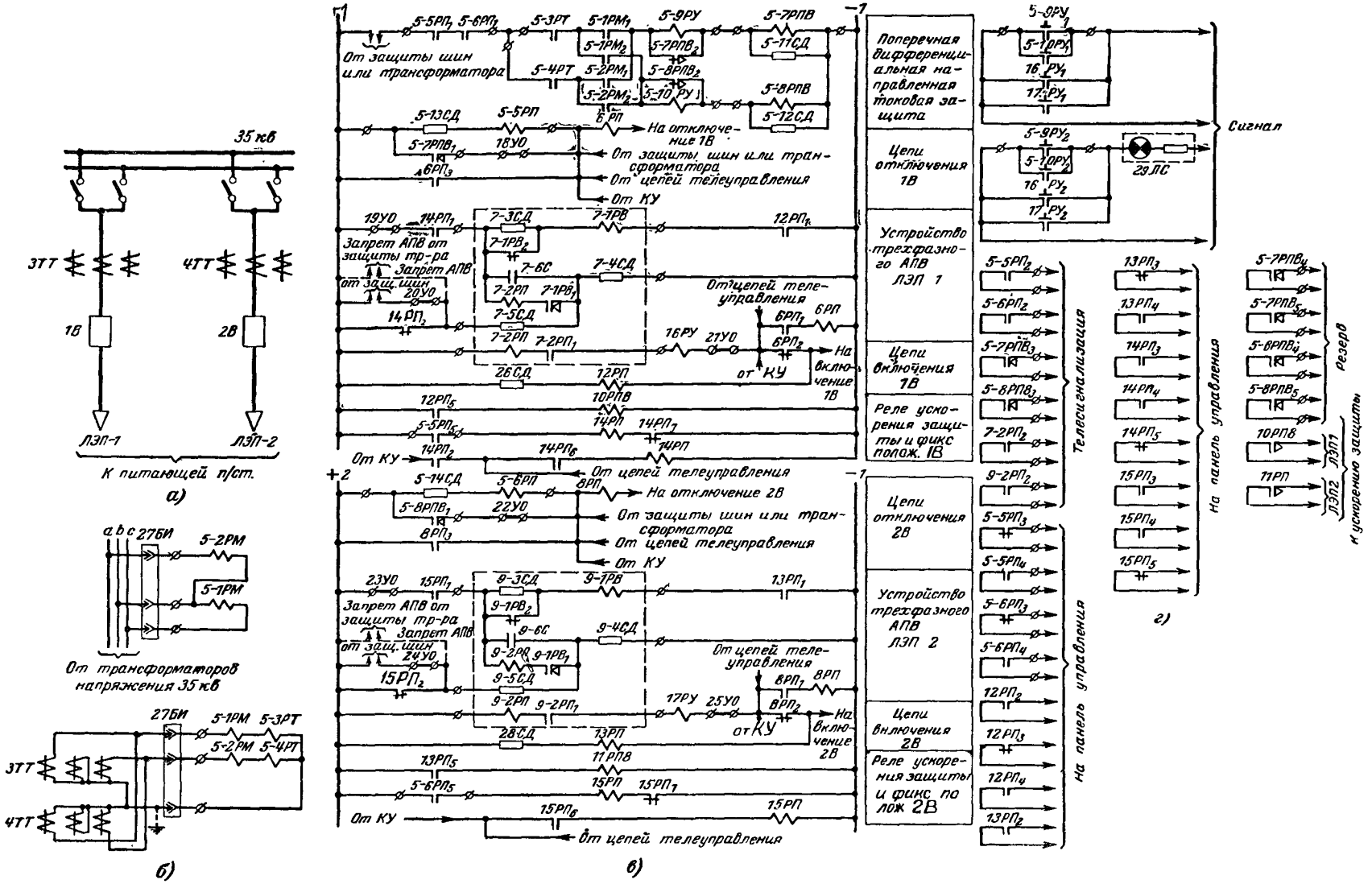


Рис. 4-56. Схема поперечной дифференциальной направленной защиты с трехфазным АПВ.

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока и напряжения; *в* — цепи оперативного постоянного тока; *г* — цепи сигнализации; *1—2* — выключатели; *3—4* — трансформаторы тока; *5* — комплект защиты (блок реле); *6, 8* — реле промежуточное типа РП-232; *7, 9* — реле АПВ типа РПВ-58; *10, 11* — реле промежуточное типа РП-252; *12—13* — реле промежуточное типа РП-23; *14, 15* — реле промежуточное типа РП-352; *16—17* — реле указательное типа РУ-21; *18—25* — отключающее устройство типа НКР-2; *26, 28* — сопротивление добавочное; *27* — испытательный блок типа БИ; *29* — лампа сигнальная.

Примечание. В части цепей управления выключателем и АПВ схема предусмотрена для масляных выключателей.

каний на землю предусматриваются трехступенчатые направленные токовые защиты нулевой последовательности.

3. Линии 110, 154 и 220 *кв*, как правило, работают в сетях с несколькими источниками питания. Поэтому предусматриваемые устройства трехфазного АПВ, как правило, выполнены с контролем синхронизма.

4. Схемы защит радиальных линий с односторонним питанием, согласно последним решениям, предусматривают двукратное АПВ с возможным переводом линий на неполнофазный режим работы.

5. Так же как и для ЛЭП 35 *кв*, защиты ЛЭП, работающих в сетях с большими токами замыкания на землю, выполнены с использованием новых комплектных защитных устройств Чебоксарского электроаппаратного завода.

6. Схемы составлены для ЛЭП, присоединенных к шинам через один выключатель, с возможностью осуществления действия на два выключателя.

При этом дополнительное релейное оборудование, необходимое при коммутировании ЛЭП через два выключателя, предполагается расположить на отдельной панели (реле положения выключателя, реле ускорения защит, устройство АПВ).

б) Принципиальные схемы защиты

1. Схема трехступенчатой токовой защиты от междуфазных к. з., трехступенчатой направленной токовой защиты от замыканий на землю (с учетом длительной работы двумя фазами), с трехфазным АПВ (рис. 4-58).

Схема предназначена для использования на головных участках линий с односторонним питанием в сетях с токами к. з., значительно превышающими токи нагрузки.

Трехступенчатая токовая защита от междуфазных к. з. выполнена с использованием двух комплектных реле. Первая и третья ступени защиты осуществляются одним комплектным реле типа КЗ-3 (реле *3*). Вторая ступень — максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени — осуществлена также комплектным реле типа КЗ-2 (реле *4*).

От замыканий на землю предусматривается использование комплектного реле типа КЗ-5 (реле *5*).

Схема предусматривает перевод защищаемой линии на двухфазный режим работы в случае устойчивого однофазного к. з. (или двухфазного без земли). Отключение одной фазы осуществляется дежурным персоналом при обесточенной линии с помощью разъединителей, которые для этой цели выполняются с пофазными приводами. В качестве индикаторов поврежденной фазы используются токовые реле резервной защиты от междуфазных к. з.

Основной защитой от замыканий на землю в полнофазном режиме является токовая направленная защита, отстроенная от токов небаланса. В зависимости от того, используется поочередное АПВ или нет, эта защита выполняется либо без выдержки времени, т. е. ускоряется до АПВ, либо с выдержкой времени 0,5—1 *сек* (время определяется числом последующих участков данной радиальной цепочки линий).

При поочередном АПВ ускорение этой защиты осуществляется с помощью реле ускорения (реле *14РПВ*) которое при включенной линии все время находится под напряжением (плюс подается через размыкающий контакт реле времени *13*). При неиспользовании поочередного АПВ цепь к реле ускорения от реле времени *13* отсоединяется (на ряде зажимов панели) и в нормальном режиме работы ЛЭП защита может действовать только с выдержкой времени, определяемой реле *5—5РВ*, встроенным в комплектный кожух КЗ-5.

В неполнофазном режиме эта защита выводится из действия, поскольку она не отстроена от токов нулевой последовательности, определяемых нагрузкой в этом режиме.

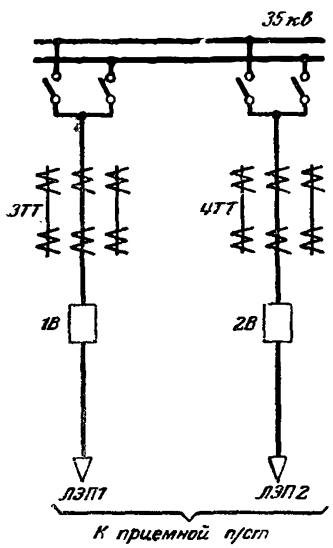
Вывод из действия защиты осуществляется с помощью промежуточного реле *11РП*, управляемого блок-контактами разъединителя линии.

Цепь от токового реле рассматриваемой защиты заводится через замыкающий контакт промежуточного реле *11РП* (в полнофазном режиме реле находится под напряжением, так как блок-контакты разъединителей трех фаз, соединенные последовательно, замкнуты при включенных разъединителях). Контроль за состоянием блок-контактов разъединителя осуществляется подачей сигнала от этого же промежуточного реле.

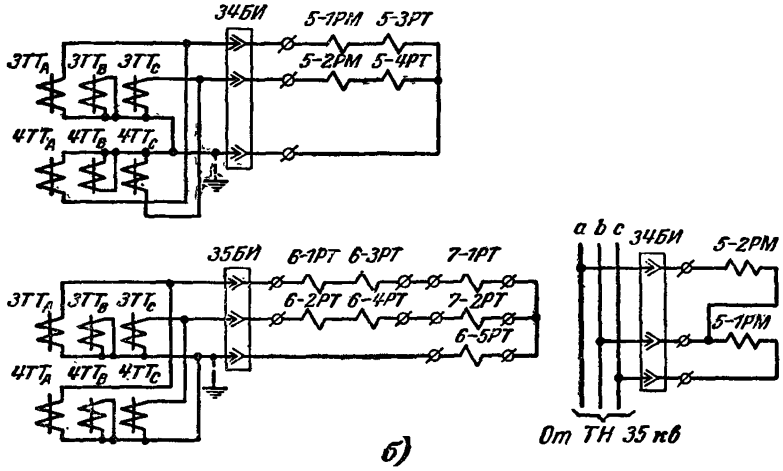
Вторая ступень защиты от замыканий на землю реле *5—3РТ* отстраивается от токов нулевой последовательности нагрузки неполнофазного режима. Принимая во внимание, что защита в неполнофазном режиме реагирует на повреждения на стороне низшего напряжения трансформаторов приемных подстанций, выдержку времени ее отстраивают от времени действия резервных защит элементов, питающих потребителей. Защита по принципу своего исполнения не требует блокирования в неполнофазном режиме и не переключается в зависимости от наличия или отсутствия поочередного АПВ.

Дополнительная ступень защиты реле *5—2РТ* отстраивается от токов нулевой последовательности при к. з. на стороне низшего напряжения трансформаторов приемной подстанции в неполнофазном режиме. При наличии поочередного АПВ она выполняется без выдержки времени, без поочередного АПВ — с выдержкой времени порядка 0,5—1 *сек* (в зависимости от числа последующих участков в рассматриваемой радиальной цепочке линий). Введение в защиту ускорения до АПВ (при использовании поочередного автоматического включения) выполняется таким же образом, как и в защите неограниченной чувствительности от междуфазных к. з. Избирательность поврежденной фазы осуществляется указательными реле *16—19* типа РУ-21, которые нормально зашунтированы контактами токовых реле резервной защиты от замыканий между фазами. Для фиксации вида повреждения — с землей или без земли — предусматривается четвертое указательное реле, которое шунтировано размыкающими контактами токового реле нулевой последовательности *5—3РТ*. С целью более четкого определения поврежденной фазы желательно обеспечить срабатывание индикаторов — шунтовых указательных реле — после второго цикла автоматического включения линии, т. е. подавать импульс либо в промежутке времени между отключением ЛЭП после первого АПВ до моменета повторного включения, либо одновременно с подачей импульса на повторное включение. При этом срабатывание указателей *16—19* будет соответствовать тому виду повреждения, которое возникает к моменту последнего цикла АПВ, что важно для быстрого отыскания поврежденной фазы и перевода линии на неполнофазный режим. В связи с этим в цепи указателей предусматривается контакт реле *12РП*, управляемого проскальзывающим контактом реле времени *13*. Выдержка времени на срабатывание этого контакта принимается больше первого цикла АПВ.

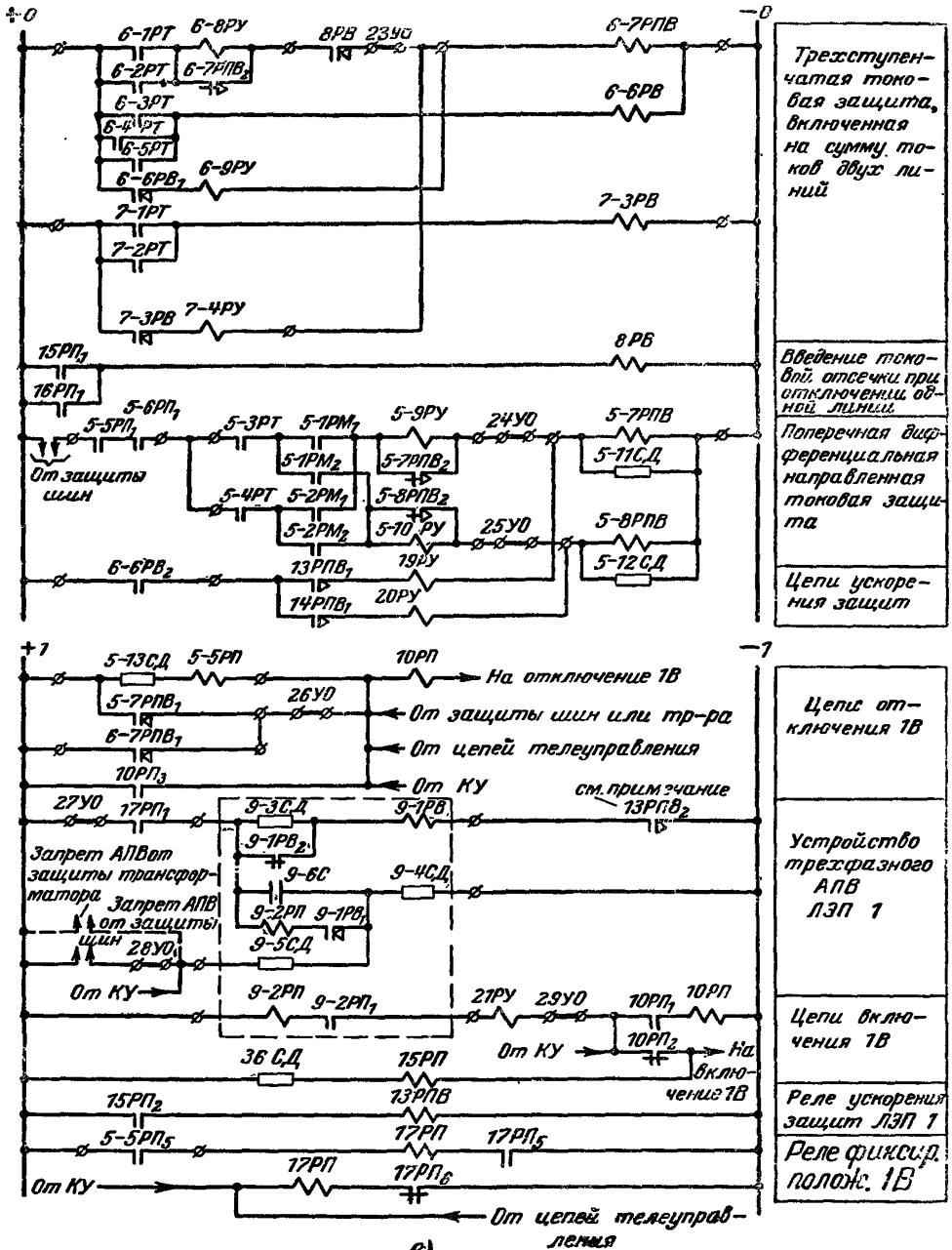
Для разрешения действия выключателя во втором цикле при давлении не ниже 16 *ат* в схеме используется шунтирование контактов манометра 19 *ат* от реле положения *8РПВ*.


35 кв
3ТТ
4ТТ
1В
2В
ЛЭП1
ЛЭП2
К приемной п/ст

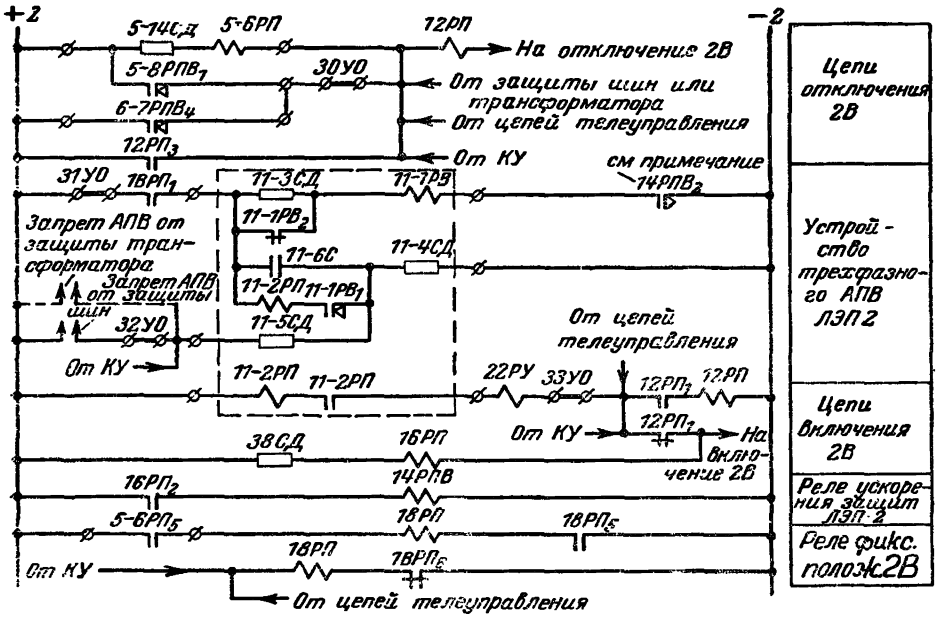
а)


3ТТ_A 3ТТ_B 3ТТ_C
4ТТ_A 4ТТ_B 4ТТ_C
3ЧБИ
5-1РМ 5-3РТ
5-2РМ 5-4РТ
35БИ
6-1РТ 6-3РТ 7-1РТ
6-2РТ 6-4РТ 7-2РТ
6-5РТ
a b c
5-2РМ
5-1РМ
От ТН 35 кв

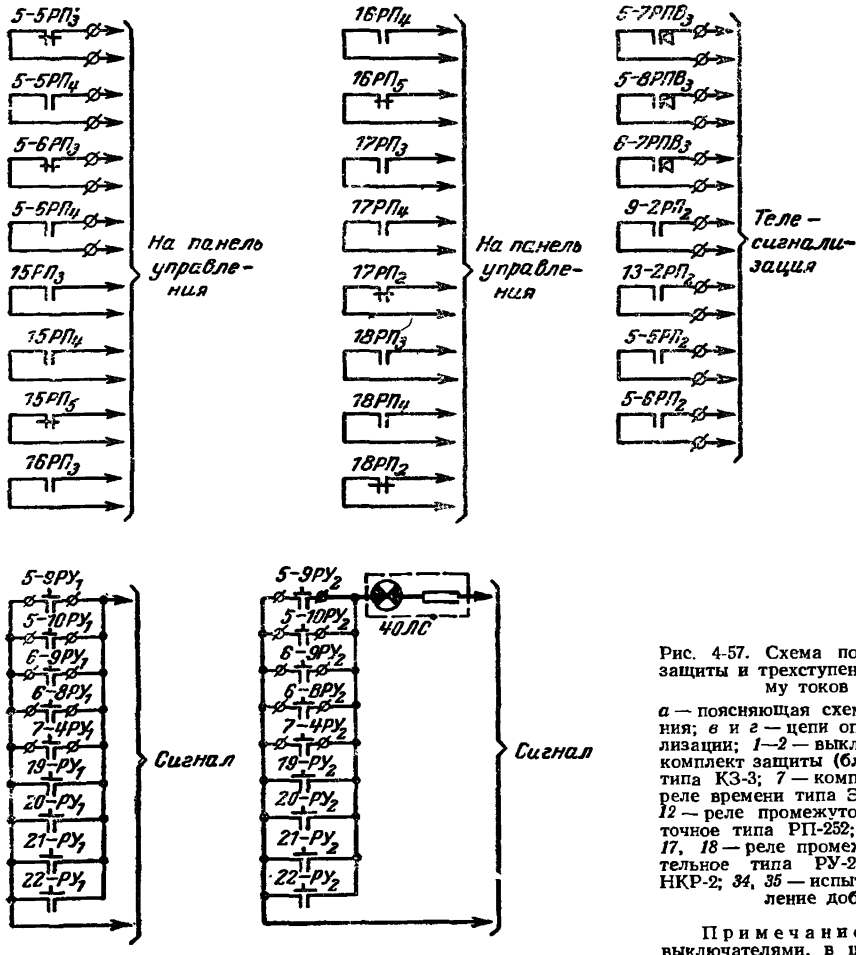
б)


0
6-1РТ 6-8РУ 8РВ 23УО 6-7РПВ
6-2РТ 6-7РПВ_3
6-3РТ
6-4РТ
6-5РТ
6-6РВ_1 6-9РУ
6-6РВ
7-1РТ
7-2РТ
7-3РВ
7-3РВ 7-4РУ
7-3РВ
15РП_1
16РП_1
8РВ
5-6РП_1
5-5РП_1
5-3РТ 5-1РМ_1 5-9РУ 24УО 5-7РПВ
5-1РМ_2 5-7РПВ_2 5-11СД
От защиты шин
5-4РТ 5-2РМ_1 5-8РПВ_2
5-2РМ_2 5-10РУ 25УО 5-8РПВ
6-6РВ_2 13РПВ_1 19РУ 5-12СД
14РПВ_1 20РУ
Трехступенчатая токовая защита, включенная на сумму токов двух линий
Введение токовой отсечки при отключении одной линии
Поперечная дифференциальная направленная токовая защита
Цепи ускорения защит
+1
5-13СД 5-5РП 10РП На отключение 1В
5-7РПВ_1 26УО От защиты шин или тр-ра
6-7РПВ_1 От цепей телеуправления
10РП_3 От КУ
27УО 17РП_1 9-3СД 9-1РВ см. примечание 13РПВ_2
9-1РВ_2
Запрет АПВ от защиты трансформатора
9-6С 9-4СД
Запрет АПВ от защиты шин 28УО_1
9-2РП 9-1РВ_1
9-5СД
От КУ
9-2РП 9-2РП_1 21РУ 29УО 10РП_1 10РП
10РП_2 От КУ На включение 1В
36СД 15РП
15РП_2 13РПВ
5-5РП_5 17РП 17РП_5
17РП 17РП_6
От КУ
От цепей телеуправления
Цепи отключения 1В
Устройство трехфазного АПВ ЛЭП 1
Цепи включения 1В
Реле ускорения защит ЛЭП 1
Реле фиксир. положе. 1В

в)



Цепи оперативного постоянного тока



г)

Рис. 4-57. Схема поперечной дифференциальной направленной защиты и трехступенчатой токовой защиты, включенной на сумму токов двух линий с трехфазным АПВ.

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока и напряжения; *в* и *г* — цепи оперативного постоянного тока и цепи сигнализации; *1—2* — выключатели; *3—4* — трансформаторы тока; *5* — комплект защиты (блок реле); *6* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-3; *7* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-2; *8* — реле времени типа ЭВ-133А; *9, 11* — реле АПВ типа РПВ-58; *10, 12* — реле промежуточное типа РП-232; *13, 14* — реле промежуточное типа РП-252; *15, 16* — реле промежуточное типа РП-23; *17, 18* — реле промежуточное типа РП-352; *19—22* — реле указательное типа РУ-21; *23—33* — отключающее устройство типа НКР-2; *34, 35* — испытательный блок типа БИ; *36—39* — сопротивление добавочное; *40* — лампа сигнальная.

Примечание. На линиях, оборудованных воздушными выключателями, в цепи пуска АПВ (контакты реле $13РПВ_2$ и $14РПВ_2$) используются контакты реле, контролирующих давление (19 *ат*) и положение выключателя.

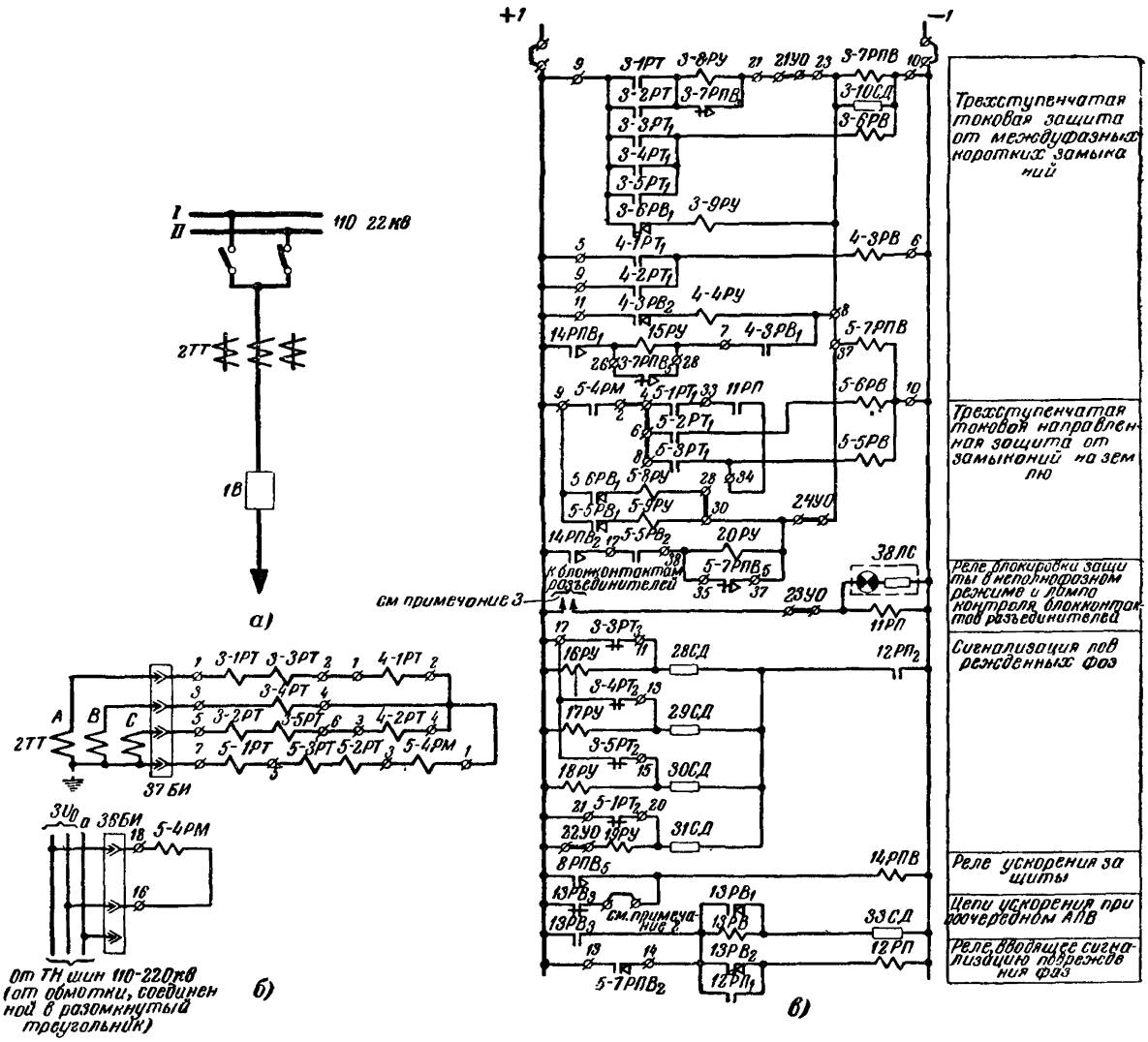


Рис. 4-58. Схема трехступенчатой токовой защиты от междуфазных к. з., трехступенчатой направленной защиты
а — поясняющая схема; б — цепи переменного тока и напряжения; *в* — цепи оперативного постоянного тока; *г* — цепи сигнализации; *1* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-5; *6* — реле АПВ типа РПВ-258; *7* — реле промежуточное типа РП-232; *8, 14* — реле промежуточное реле указательное типа РУ-21; *16—19* — реле указательное шунтовое типа РУ-21; *21—27, 35* — отключающее устройство

Примечания: 1. На линиях, оборудованных воздушными выключателями, в цепи пуска АПВ (контакт реле *1РП*) использовать снята.
2. Перемычка снимается, если поочередное АПВ на линии не предусматривается.
3. В цепи управления промежуточным реле *11* предусматриваются блок-контакты разъединителей трех фаз, включенные последова-

Все три ступени защиты от замыканий на землю выполнены направленными в целях неучета влияния на выбор параметров защиты режима заземления нейтралей трансформаторов приемных подстанций.

2. Схема двухступенчатой токовой защиты от междуфазных к. з., двухступенчатой направленной токовой защиты от замыканий на землю (с учетом длительной работы двумя фазами) *и с трехфазным* АПВ (рис. 4-59).

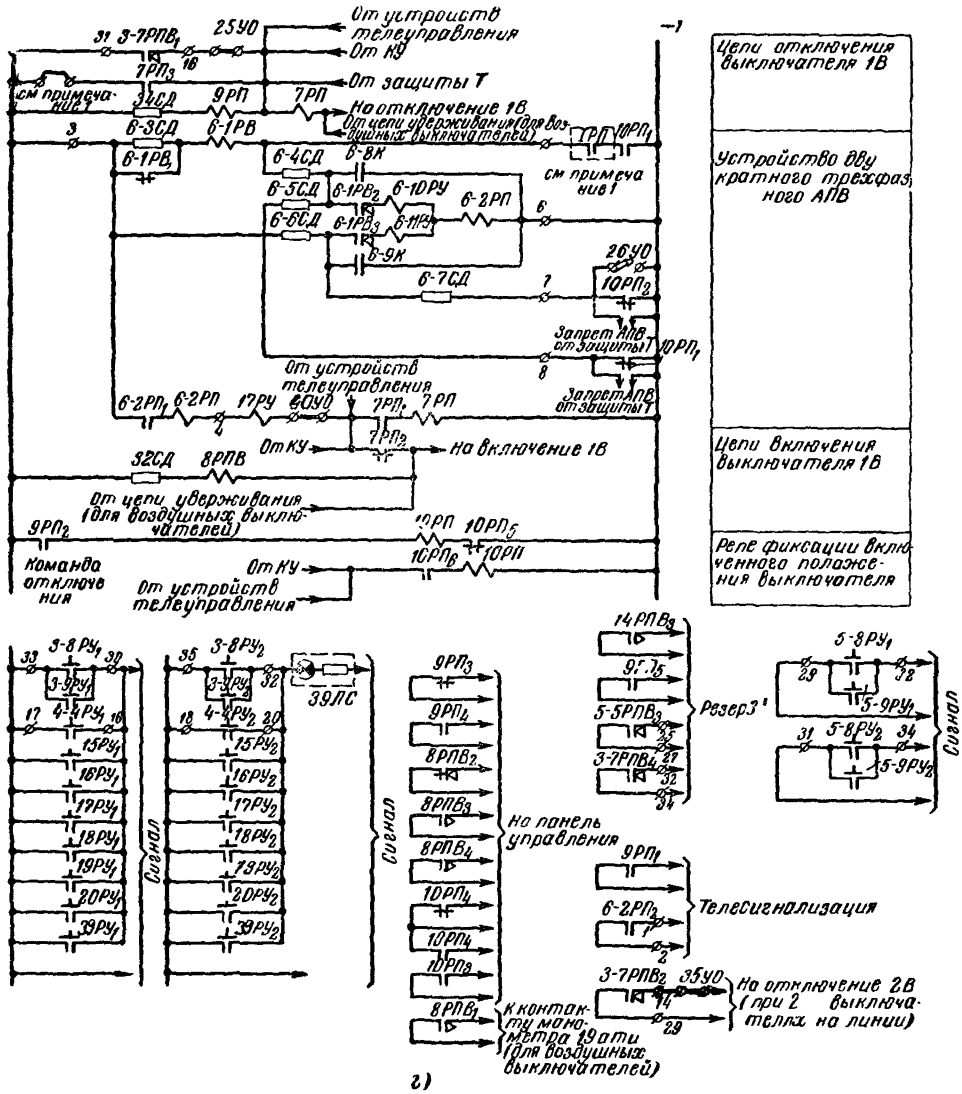
Схема предназначена для использования на тупиковых линиях с односторонним питанием в сетях с токами к. з., значительно превышающими токи нагрузки.

Максимальная токовая отсечка от междуфазных к. з. без выдержки времени и вторая ступень защиты от междуфазных повреждений выполнены с использованием комплектного реле типа КЗ-3 (реле *3*).

От замыканий на землю используется комплектная трехступенчатая защита типа КЗ-5 (реле *4*).

Условия выбора параметров реле тока нулевой последовательности остаются теми же, что и для защиты головного участка ЛЭП (схема рис. 4-58). Некоторое отличие имеет место в выборе выдержек времени: защита от замыканий на землю по времени выполняется двухступенчатой.

В полнофазном режиме чувствительная защита (токовое реле *4—3РТ*) действует без выдержки времени вне зависимости, применяется ли в сети поочередное АПВ или нет. Это обеспечивается подачей импульса



г)

от замыканий на землю (с учетом длительной работы двумя фазами), с трехфазным АПВ.

выключатель; *2*—трансформаторы тока; *3*—комплект защиты (блок реле) типа КЗ-3; *4*—комплект защиты (блок реле) типа КЗ-2; *5*—типа РП-252; *9, 11, 12*—реле промежуточное типа РП-23; *10*—реле промежуточное типа РП-352; *13*—реле времени типа ЭВ-142А; *15, 20, 40*—типа НКР-2; *28—34*—сопротивление добавочное; *36, 37*—испытательный блок типа БИ; *38, 39*—лампа сигнальная.

зуется контакт реле, контролирующего давление (19 *ат*) и положение выключателя; при этом перемычка в цепи контакта $7РП_3$ должна

тельно и замкнутые при включенных разъединителях.

на выходное промежуточное реле защиты (*4—6РПВ*) через контакт реле *5РП*. В неполнофазном режиме эта цепь блокируется, так как контакт реле *5РП* разомкнут.

Также без выдержки времени действует реле тока защиты *4—1РТ*, отстроенное от к. з. на стороне низшего напряжения трансформатора в неполнофазном режиме. Селективность защиты при повреждении в трансформаторе обеспечивается АПВ.

С выдержкой времени второй ступени действует защита (реле *4—2РТ*), отстроенная от токов нулевой последовательности, обусловленных нагрузкой в неполнофазном режиме работы линии.

Имеется отличие в схеме включения индикаторов поврежденных фаз (реле *12—14РУ*) по сравнению со схемой рис. 4-58.

Ввиду отсутствия в схеме реле времени поочередного АПВ импульс на срабатывание избирателей поврежденной фазы подается от реле ускорения защиты (реле *11РПВ*), т. е. в первый цикл АПВ. В целях исключения срабатывания индикаторов при сквозных повреждениях импульс на них подается через замыкающие контакты выходных промежуточных реле. Таким образом, принципиально может иметь место ложное срабатывание индикаторов в нескольких фазах, если повреждение в промежутке между первым и вторым АПВ перейдет из многофазного в однофазное, однако это маловероятно.

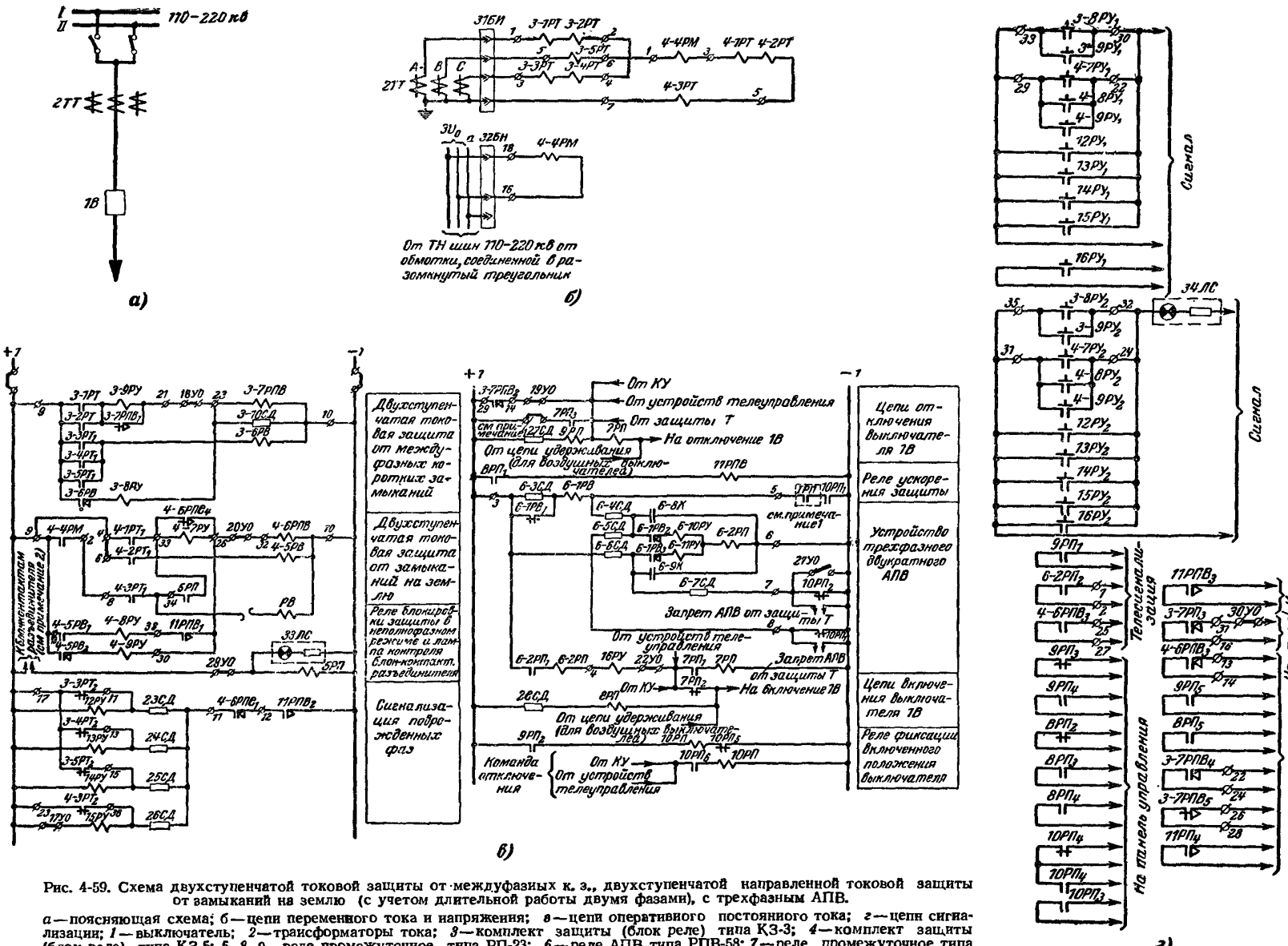


Рис. 4-59. Схема двухступенчатой токовой защиты от междуфазных к. з., двухступенчатой направленной токовой защиты от замыканий на землю (с учетом длительной работы двумя фазами), с трехфазным АПВ.

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока и напряжения; *в* — цепи оперативного постоянного тока; *г* — цепи сигнализации; *1* — выключатель; *2* — трансформаторы тока; *3* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-3; *4* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-5; *5, 8, 9* — реле промежуточное типа РП-23; *6* — реле АПВ типа РПВ-58; *7* — реле промежуточное типа РП-232; *10* — реле промежуточное типа РП-352; *11* — реле промежуточное типа РП-252; *12—15* — реле указательное типа РУ-21 шунтовое; *16* — реле указательное типа РУ-21; *17—22, 29, 30* — отключающее устройство типа НКР-2; *23—28* — сопротивление добавочное; *31—32* — испытательный блок типа БИ; *33—34* — лампа сигнальная; *1РП* — контакт реле, контролирующего давление (19 *ат*) в положение выключателя, замкнутый при отключенном выключателе, если к моменту отключения давление воздуха было не менее 19 *ат* (избыточных).

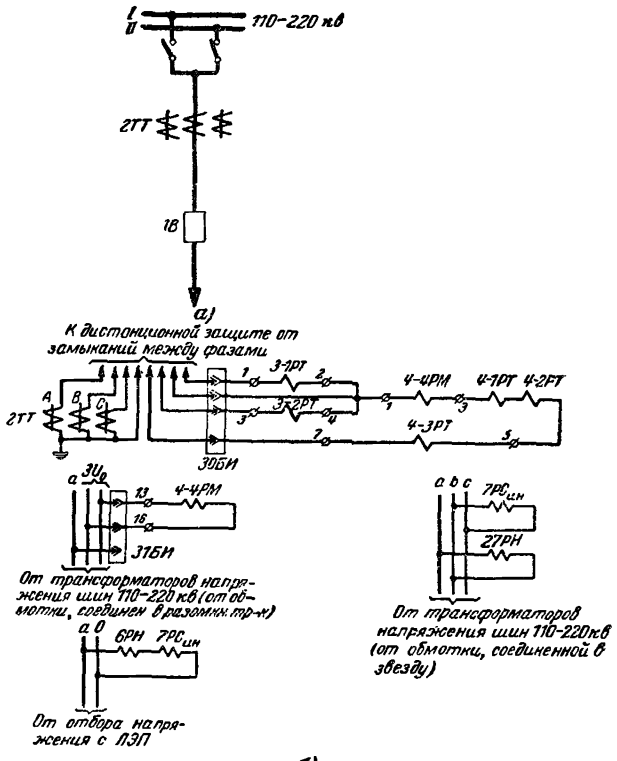
Примечания 1. На линиях, оборудованных масляными выключателями, в цепи пуска АПВ вместо контакта *1РП* используется контакт реле *8РП* положения выключателя.

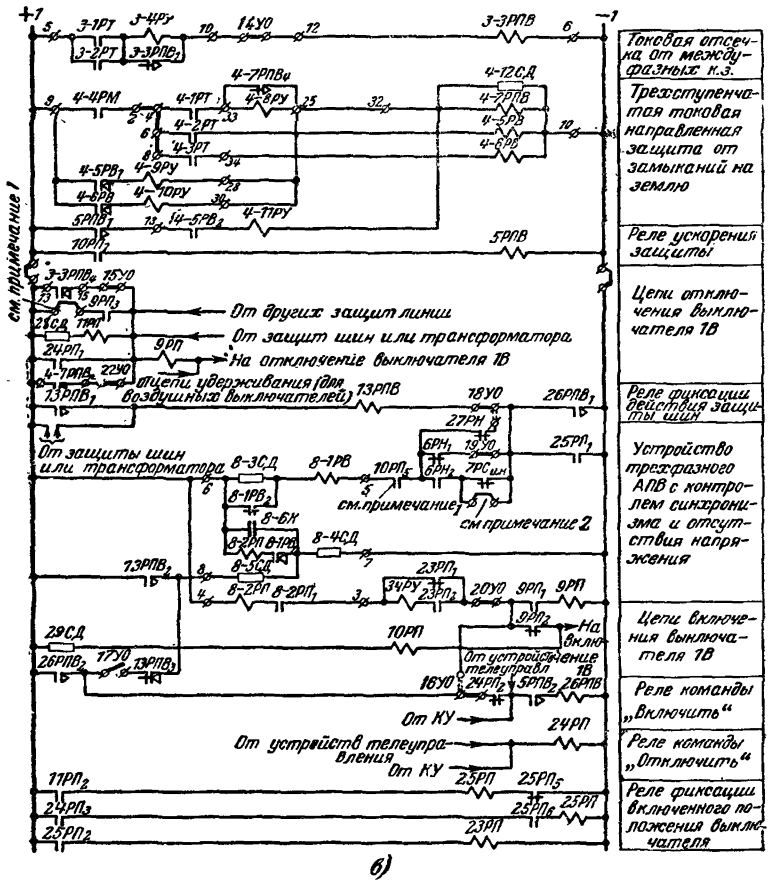
2. В цепи управления промежуточным реле *5* предусматриваются блок-контакты разъединителей трех фаз, включенные последовательно и замкнутые при включенных разъединителях.

Рис. 4-60. Схема токовой отсечки от междуфазных к. з. и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю в сочетании с трехфазным АПВ с контролем синхронизма.
а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока и напряжения; *в* — цепи оперативного постоянного тока; *г* — цепи сигнализации; *1* — выключатель; *2* — трансформаторы тока; *3* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-1; *4* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-5; *5* — реле промежуточное типа РП-252; *6* — реле напряжения типа ЭН-529; *7* — реле контроля синхронизма типа ЭН-535; *8* — реле АПВ типа РПВ-58; *9* — реле промежуточное типа РП-232; *10, 11* — реле промежуточное типа РП-23; *13* — реле промежуточное типа РП-252; *14—22* — отключающее устройство типа НКР-2; *23—24* — реле промежуточное типа РП-23; *25* — реле промежуточное типа РП-352; *26* — реле промежуточное типа РП-252; *27* — реле промежуточное типа ЭН-526; *28—30* — сопротивление добавочное; *31—32* — испытательный блок типа БИ; *33* — лампа сигнальная; *34—35* — реле указательное типа РУ-21.

Примечания. 1. На линиях, оборудованных воздушными выключателями, в цепи пуска АПВ (контакт реле *10РП1*) используется контакт реле, контролирующего давление (19 *ат*) и положение выключателя; при этом перемычка в цепи контакта $9РП_3$ снимается.

2. В случае, когда на линиях используется несинхронное АПВ с контролем наличия напряжения, на панели должны быть установлены перемычки, шунтирующие контакты реле контроля синхронизма.





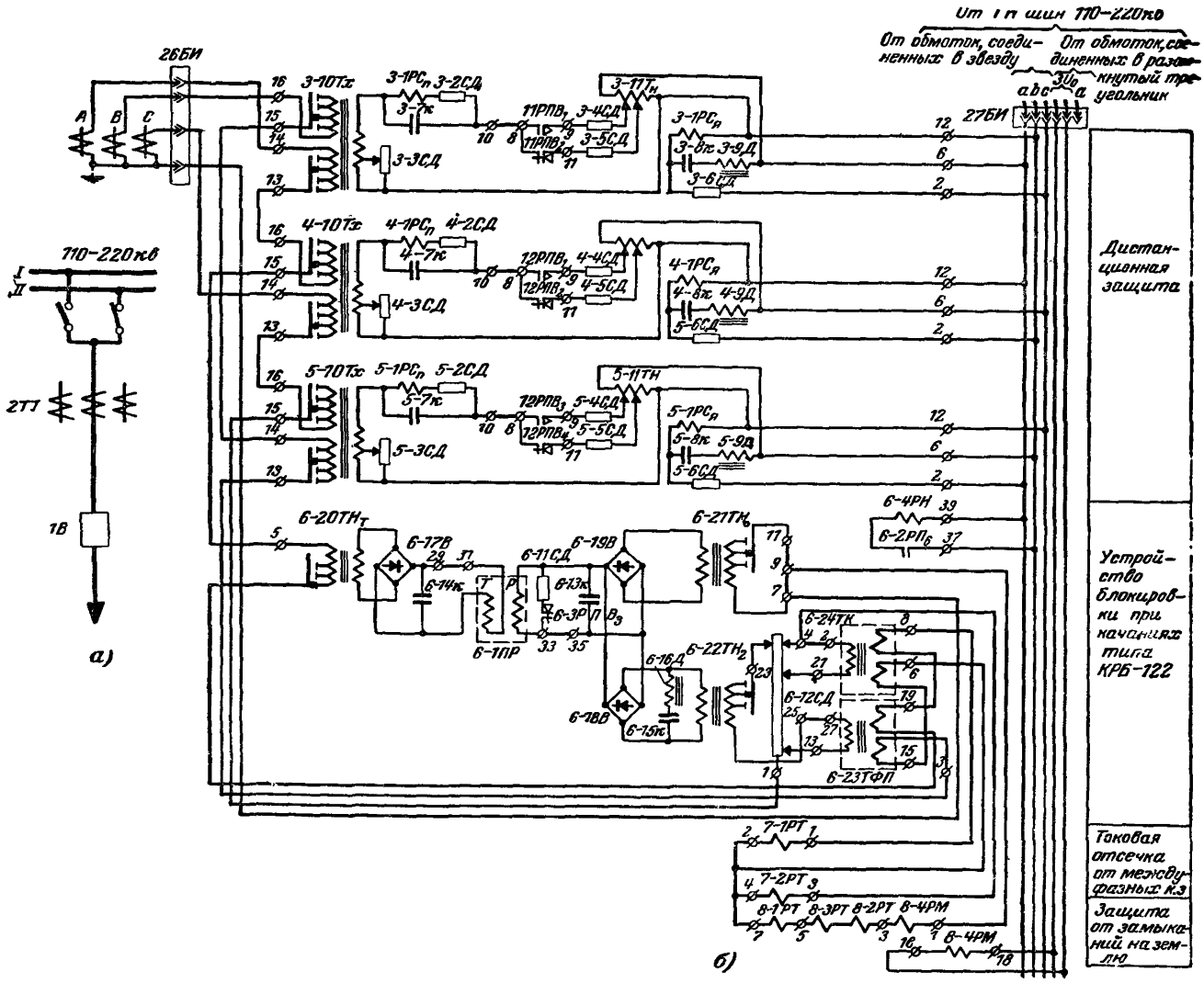


Рис. 4-61. Схема двухступенчатой дистанционной защиты, фильтровой токовой защиты обратной последовательности, *а* — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока и напряжения; *в, г* — цепи оперативного постоянного тока и цепи сигнализации; типа КРБ-122; *7* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-1; *8* — комплект защиты (блок реле) типа КЗ-5; *9* — реле времени типа ЭВ-132А; тельное типа РУ-21; *20—25* — отключающее устройство типа НКР-2; *26, 27* — испытательный блок типа БИ; *28* — лампа сигнальная; телях; *ПРПВ* — контакты реле ускорения защит, находящегося

Примечания: 1. В устройстве блокировки при качаниях поз. *6* пунктиром показано соединение, которое должно быть Размыкающие контакты *6—2РП*$_2$ и *6—3РПВ*$_2$ должны быть заменены на замыкающие контакты соответствующих реле. (*11РПВ*$_1$ и *11РПВ*$_2$, *12РПВ*$_1$ и *12РПВ*$_2$, *12РПВ*$_3$ и *12РПВ*$_4$) происходило без разрыва в цепи. Контакт *11РПВ*$_4$ должен размыкаться вторую).

Для разрешения действия выключателя во втором цикле при давлении не ниже 16 *ат* в схеме используется шунтирование контактов манометра 19 *ат* от реле ускорения *11РПВ*.

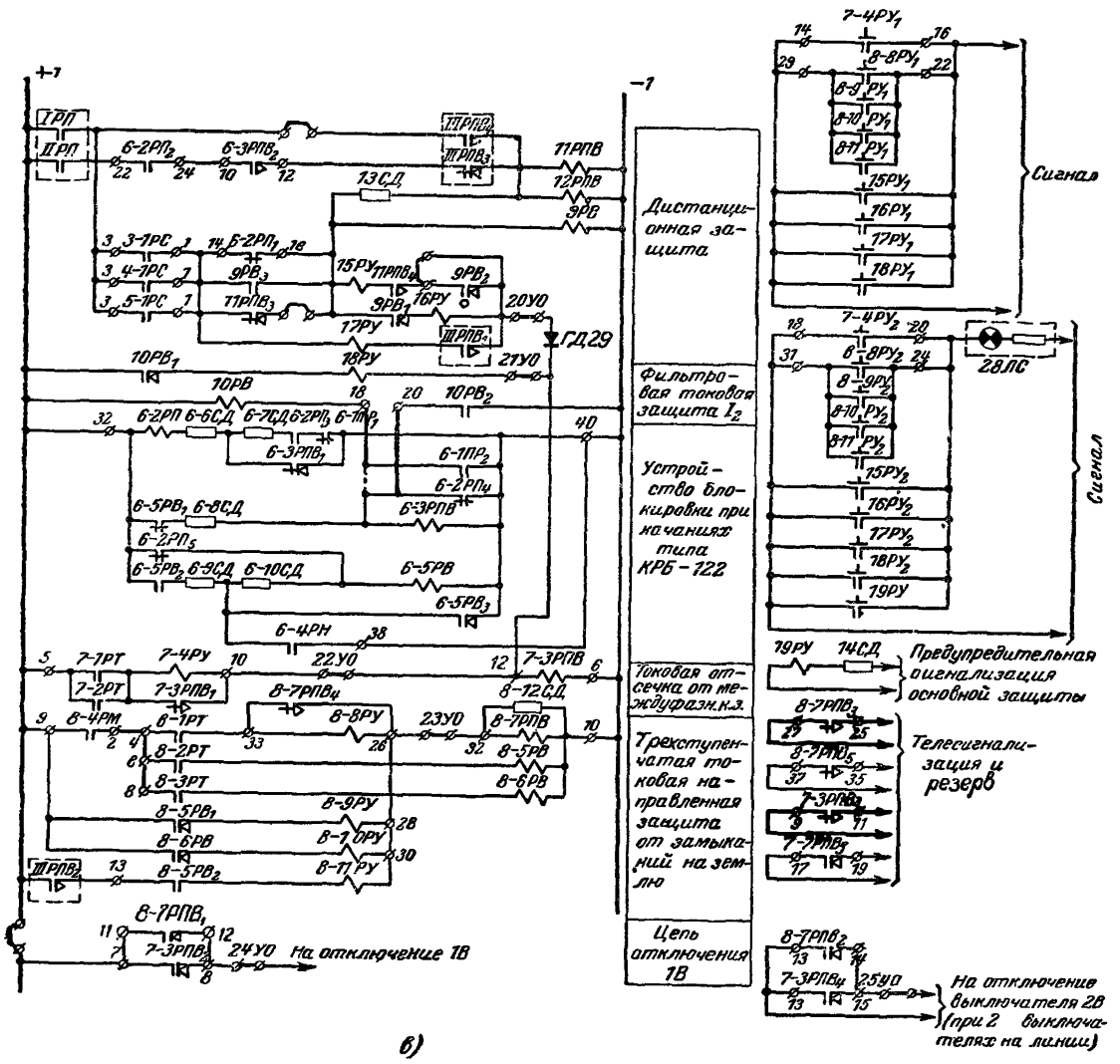
В остальном схема панели не отличается от схемы рис. 4-58.

3. Схема токовой отсечки от междуфазных к. з. и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю в сочетании с трехфазным АПВ *с контролем синхронизма* (рис. 4-60).

Защита применяется на линиях с двусторонним питанием, оборудованных как основной, так и резервной защитой от междуфазных к. з. (например, комплектной защитой типа ПЗ-158).

Максимальная токовая отсечка от междуфазных к. з. осуществлена комплектным реле типа КЗ-1 (реле *3*). Трехступенчатая токовая направленная защита от размыканий на землю выполняется с помощью комплектного реле типа КЗ-5 (реле *5*), трехфазное АПВ осуществлено на реле РПВ-58 (реле *8*).

На панели устанавливается промежуточное реле типа РП-23 (реле *23РП*), используемое в цепях сигнализации при включении выключателя. При отключенном выключателе реле *23РП* обесточено, так как его обмотка управляется замыкающим контактом реле положения *РПВ* (реле в цепи отключения выключателя). При включенном выключателе реле *23РП* находится под напряжением и дешунтирует указательное



токовой отсечки от междуфазных к. з. и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю.

1—выключатель; *2*—трансформаторы тока; *3—5*—направленное реле сопротивления типа КРС-131; *6*—блокировка при качаниях *10*—реле времени типа ЭВ-134А; *11—12*—реле промежуточное типа РП-252; *13—14*—сопротивление добавочное; *15—19*—реле указа- *29*—германиевый диод; *1РП*, *11РП*—контакты реле положения (*РПР*) разъединителей ЛЭП, замкнутые при включенных разъединив сработавшем положении при отключенном выключателе.

снято, толстыми линиями—дополнительно выполняемые соединения.

2. Контакты реле *11РПВ* и *12РПВ* должны быть отрегулированы так, чтобы переключение соответствующих пар контактов раньше, чем произойдет переключение вышеупомянутых контактов реле по поз. *11* и *12* (перестройка защиты с первой зоны на

реле в цепи включения выключателя от устройства АПВ (реле *14РУ*). Шунтирование этого указательного реле необходимо для исключения его срабатывания при включении выключателя через устройство АПВ от ключа управления.

В случае присоединения линии через два выключателя реле контроля синхронизма (реле $7РС_{ин}$) и реле контроля напряжения реле *6РН* на линии действуют на промежуточные реле с целью размножения числа контактов для использования их в устройствах АПВ для каждого выключателя.

Эти промежуточные реле устанавливаются на отдельной панели, предусматриваемой при установке двух выключателей на присоединение. В том случае если предусмотренное на панели АПВ используется для АПВ шин, то в цепь контроля вводятся контакты промежуточного реле управляемого реле напряжения, питающегося от трансформатора напряжения сборных шин. Реле напряжения и промежуточное реле устанавливаются на панели защиты шин.

4. Схема двухступенчатой дистанционной защиты, фильтровой токовой защиты обратной последовательности, токовой отсечки от междуфазных к. з. и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю (рис. 4-61).

Защита применяется на линиях с двусторонним питанием в качестве резервной при установке основной высокочастотной или продольной дифференциальной

защиты или в качестве основной, когда допустимо отключение повреждений на защищаемой линии с выдержкой времени.

Двухступенчатая дистанционная защита осуществляется тремя направленными реле сопротивления типа КРС-131 (реле *3—5*). Перестройка защиты по зонам производится с помощью устройства блокировки при качаниях типа КРБ-122 (реле *6*), реагирующей на появление токов обратной последовательности. В схеме предусмотрены перемычки на ряде зажимов панели, позволяющие выполнить первую ступень защиты с выдержкой времени или без нее. Использование в схеме устройства, реагирующего на появление тока обратной последовательности, позволяет выполнить дистанционную защиту без специальной блокировки при нарушениях в цепях напряжения. Взаимодействие промежуточных реле *11—12РПВ*, осуществляющих перестройку защиты с первой ступени на вторую, с комплектом реле блокировки при качаниях выполняется следующим образом. В доаварийном режиме при включенной линии реле *11—12РПВ* находятся под напряжением; замыкающие контакты этих реле в цепях напряжения реле сопротивления (*11РПВ*$_1$, *12РПВ*$_1$ и *12РПВ*$_3$) замкнуты, а размыкающие (*11РПВ*$_2$, *12РПВ*$_2$ и *12РПВ*$_4$) разомкнуты. Это соответствует настройке защиты на уставку первой зоны. При возникновении повреждения в токе линии появляется составляющая обратной последовательности (при симметричных к. з.—в первый момент возникновения повреждения), поляризованное реле устройства блокировки при качаниях срабатывает, обесточивается промежуточное реле *6—2РП*; отпаданне этого реле обуславливает следующее:

обесточиваются реле *11—12РПВ*, что по истечении выдержки времени на отпадание этих реле порядка

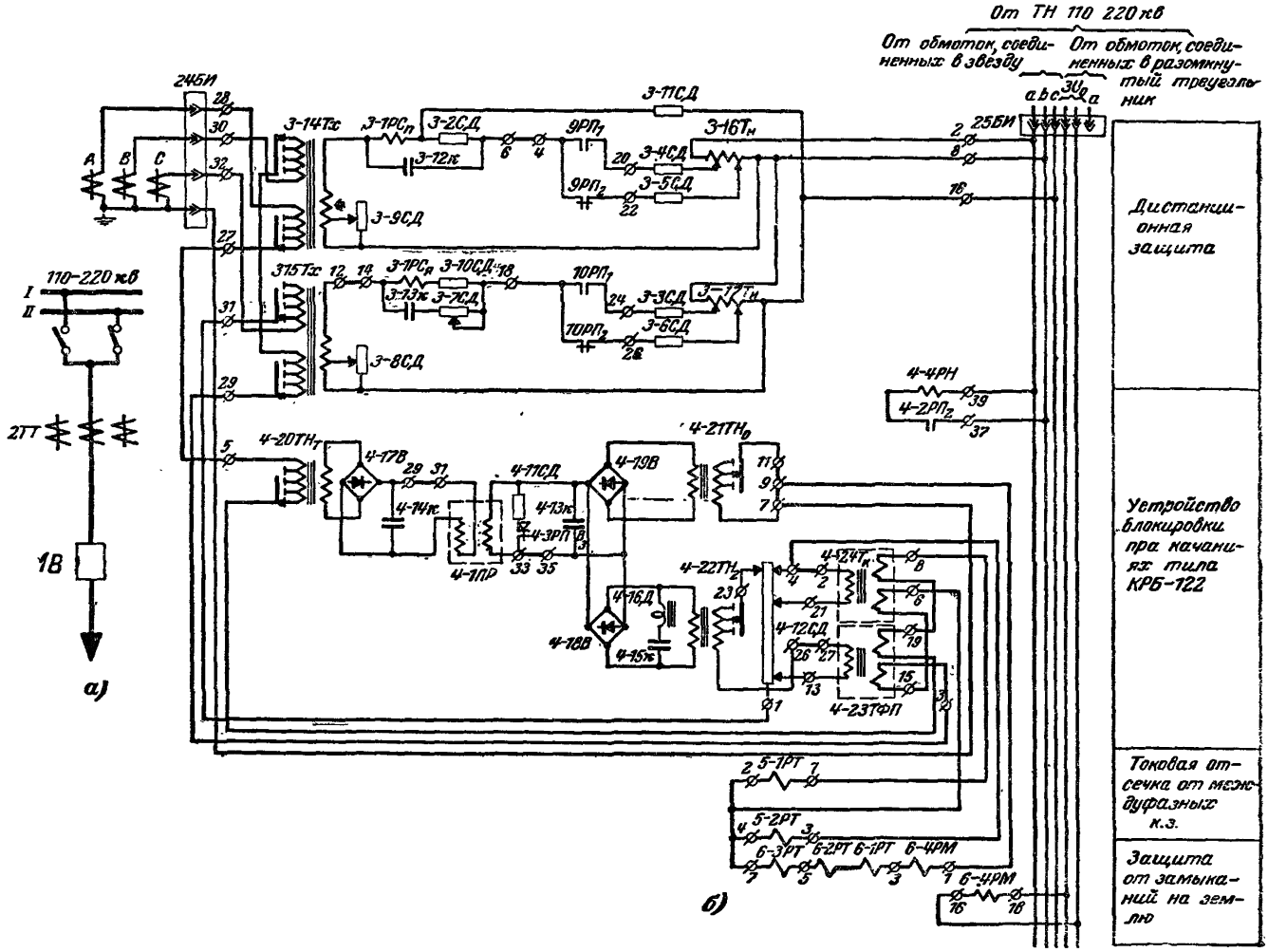


Рис. 4-62. Схема двухступенчатой дистанционной защиты от несимметричных к. з., фильтровой токовой защиты обратной последова
а—поясняющая схема; *б*—цепи переменного тока и напряжения; *в, г*—цепи оперативного постоянного тока и цепи сигнализации; типа КРБ-122; *5*—комплект защиты (блок реле) типа КЗ-1; *6*—комплект защиты (блок реле) типа КЗ-5; *7*—реле времени типа ЭВ-122А; ное типа РУ-21; *18—23*—отключающее устройство типа НКР-2; *36—39*—сопротивление добавочное; *24—25*—испытательный блок тые при включенных разъединителях; *11РПВ*—контакты реле ускорения защит,

Примечания: *1*. В устройстве блокировки при качаниях поз. 4 пунктиром показано соединение, которое должно быть замыкающий контакт этого реле.

2. Контакты реле *9РП* и *10РП* должны быть отрегулированы так, чтобы переключение соответствующих пар контактов ние вышеупомянутых контактов реле по поз. *9* и *10* (перестройка защиты с первой зоны на вторую).

0,2 *сек* обеспечит перестройку защиты с первой зоны на вторую;

начинает работать реле времени *6—5РВ* устройства блокировки при качаниях;

вводится в действие первая ступень дистанционной защиты (котактом *6—2РП*$_1$).

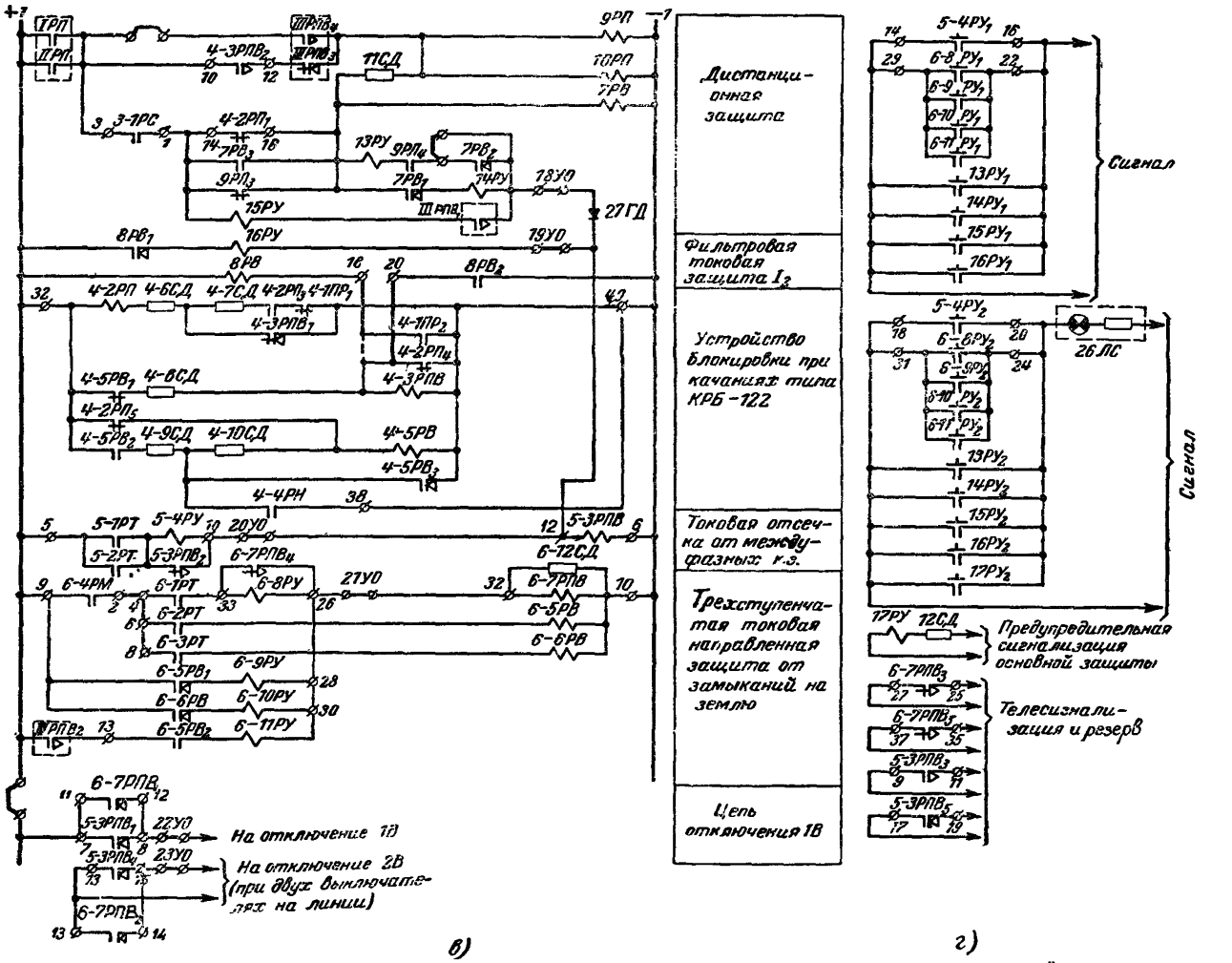
Если произошло повреждение в зоне первой ступени, которая не имеет выдержки времени (перемычка, шунтирующая контакт реле времени *9РВ*$_2$, замкнута), то защита подействует на отключение до размыкания контакта *6—2РП*$_1$, поскольку реле *6—2РП* будет подтянуто (на него будет подан *плюс*) контактом реле *6-3РПВ*$_1$, имеющего задержку на возврат порядка 0,3—0,4 *сек*.

Прн необходимостн выполнения первой ступени защиты с выдержкой времени (перемычка, шунтирующая контакт *9РВ*$_2$, разомкнута) схема работает аналогичным образом, но прн этом осуществляется самоудерживание реле времени *9РВ* через его замыкающий мгновенный контакт, контролируемое дистанционными реле *3—5РС*. Контакт реле времени *9РВ*$_2$ шунтирует контакт блокировки при качаниях *6—2РП*$_1$, что обеспечивает срабатывание защнты после возврата в исходное положение реле *6—2РП*.

Схемой предусматривается возможность выполнения второй ступени защиты с блокировкой при качаниях н без нее.

Для этой цели предусматривается перемычка на ряде зажимов панели в цепи размыкающего контакта промежуточного реле *11РПВ* (контакт *11РПВ*$_3$).

При необходимости осуществить вторую ступень защиты с блокировкой при качаниях перемычка в цепи этого контакта должна быть снята. Работа схемы в этом случае будет происходнть следующим образом. Прн повреждении в зоне второй ступени защиты дистанционные реле *3—5РС* вначале не срабатывают (они по уставке настроены на первую зону). Контакт промежуточного реле блокировки при качаниях



тельности, токовой отсечки от междуфазных к. з. и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю.

1—выключатель; *2*—трансформаторы тока; *3*—многофазное дистанционное реле типа КРС-121; *4*—блокировка при качаниях *8*—реле времени типа ЭВ-134А; *9—10*—реле промежуточное типа РП-23; *11—12*—сопротивление добавочное; *13—17*—реле указательтипа БИ; *26*—лампа сигнальная; *27*—германиевый диод; *1РП, 11РП*—контакты реле положения (*РПР*) разъединителей ЛЭП, замкнунаходящегося в сработавшем положении при отключенном выключателе.

снято, толстыми линиями—дополнительно выполняемые соединения. Размыкающий контакт реле *4-3РПВ*$_2$ должен быть заменен на

(*9РП*$_1$ и *9РП*$_2$, *10РП*$_1$ и *10РП*$_2$) происходило без разрыва цепи. Контакт *9РП*$_4$ должен размыкаться раньше, чем произойдет переключе-

$6—2РП_1$ замкнут и держится в таком состоянии до того момента, пока вернется в исходное положение промежуточное реле *6—3РПВ*. Поэтому необходимо обеспечить перестройку защиты с первой на вторую зону достаточно быстро, чтобы осуществить срабатывание реле времени с последующим удерживанием его от контактов дистанционных реле. Для этой цели вводится замыкающий контакт реле $6—2РП_2$, в цепь удерживания реле *11—12РПВ*, осуществляющих перестройку защиты с первой зоны на вторую, так как реле *6—2РП* обесточивается в первый момент возникновения повреждения.

При больших временах действия второй ступени дистанционной защиты (свыше 1,5 *сек*), когда ее блокирование при качаниях необязательно, перемычка в цепи контакта $11РПВ_3$ должна быть замкнута. В этом случае срабатывание реле времени *9РВ* будет осуществляться по этой цепи (где включена перемычка) и нет надобности в ускорении перестройки дистанционной защиты с зоны на зону; упоминаемый выше контакт $6—2РП_2$ может не использоваться для подрыва цепи промежуточных реле *11—12РПВ*. Однако в схеме в целях упрощения не предусмотрены дополнительные шунтирующие перемычки, поскольку наличие этого контакта не влияет на правильность работы защиты.

В цепи промежуточных реле *11—12РПВ* предусмотрен контакт реле ускорения защиты для обеспечения ее перестройки на вторую ступень при действии АПВ.

Наличие разомкнутых контактов $6—2РП_1$ и $11РПВ_3$ в цепи контактов дистанционных реле исключает возможность неправильного действия дистанционной защиты в нормальном режиме работы линии при неисправностях в цепях напряжения. Предполагается, что неисправности в цепях напряжения трансформаторов напряжения контролируются устройствами, расположенными на специальной панели.

В схеме предусматривается использование комплекта блокировки при качаниях типа КРБ-122 для осуществления резервной ступени защиты от несимметричных повреждений. Для этой цели в комплектном реле КРБ-122 производятся пересоединения, обеспечивающие срабатывание реле времени *10РВ* при появлении составляющей тока обратной последовательности.

В цепях оперативного тока (шинка *плюса*) предусматривается перемычка, необходимая для разделения цепей защиты и отключения в случае присоединения линии через два выключателя.

Токовая отсечка от междуфазных к. з. осуществлена на комплектном реле типа КЗ-1, токовая направленная защита нулевой последовательности выполнена с использованием комплектного реле типа КЗ-5.

5. Схема двухступенчатой дистанционной защиты от несимметричных к. з., фильтровой токовой защиты обратной последовательности, токовой отсечки от междуфазных к. з. и трехступенчатой токовой направленной защиты от замыканий на землю (рис. 4-62).

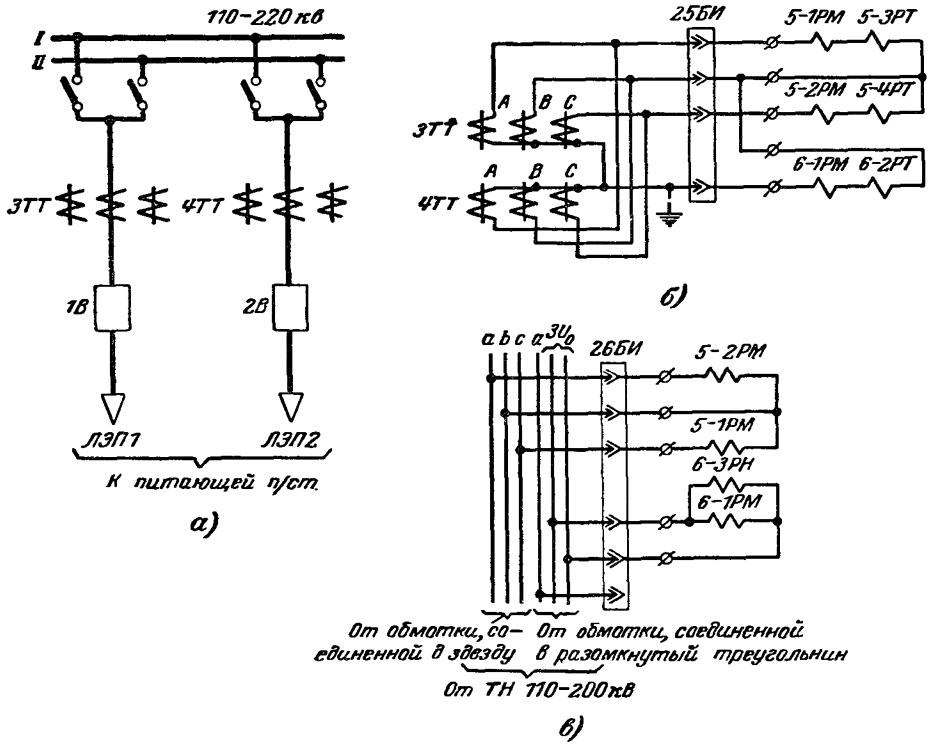
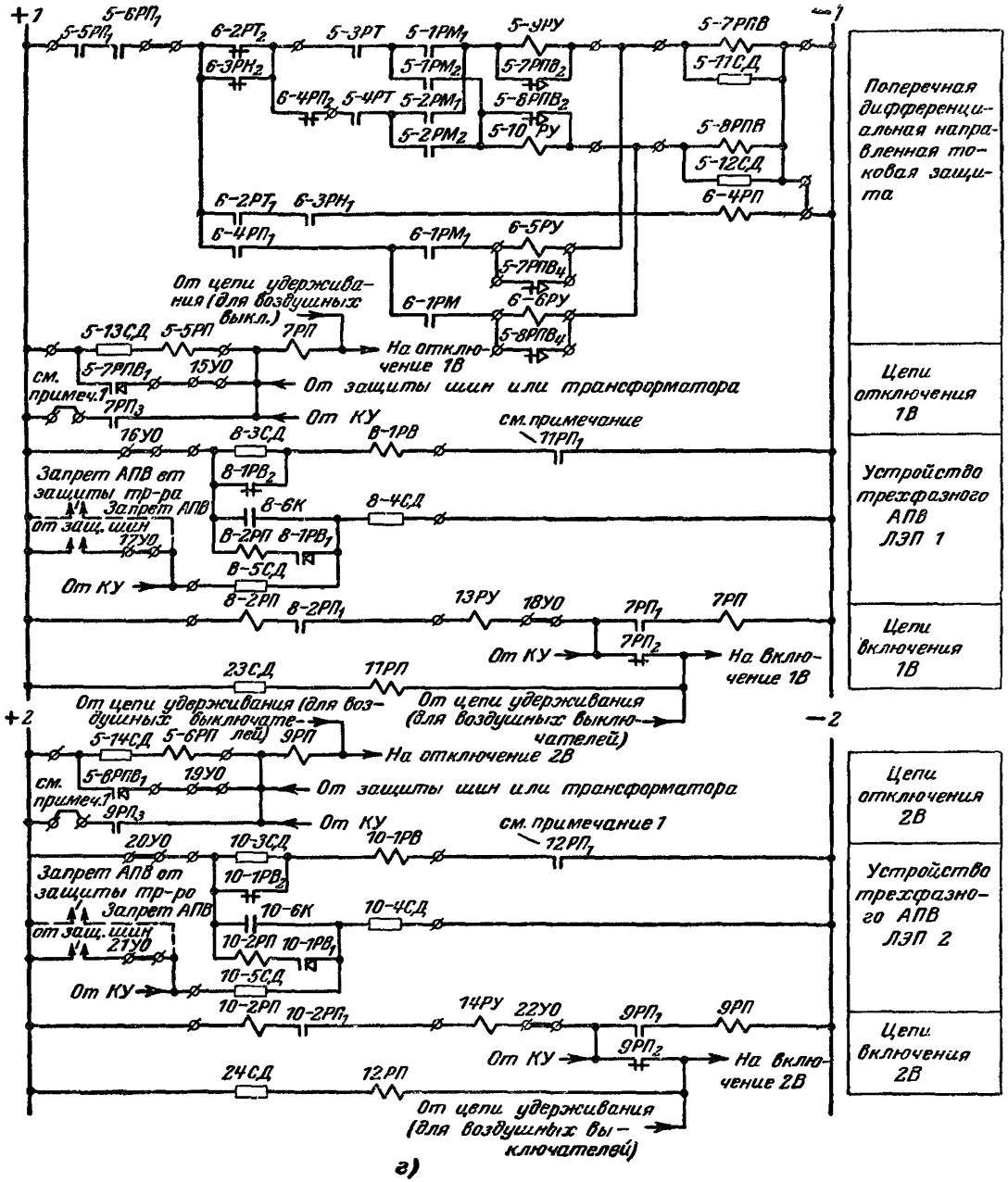


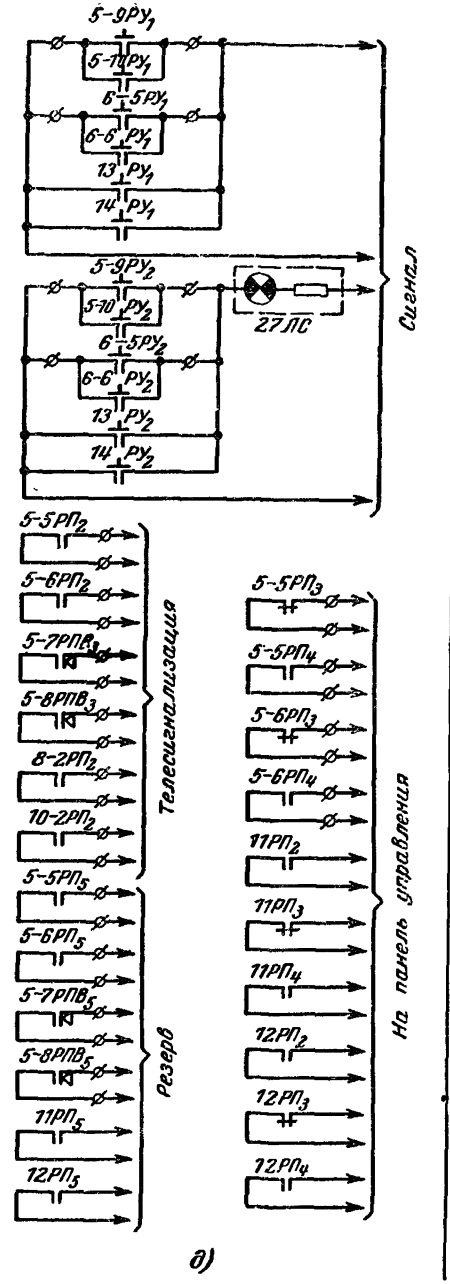
Рис. 4-63. Схема поперечной направленной дифференциальной защиты с трехфазным АПВ.

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи переменного напряжения; *г* — цепи оперативного постоянного тока; *д* — цепи сигнализации; *1—2* — выключатель; *3—4* — трансформаторы тока; *5* — комплект защиты (блок реле); *6* — комплект защиты (блок реле); *7, 9* — реле промежуточное типа РП-232; *8, 10* — реле АПВ типа РПВ-58; *11, 12* — реле промежуточное типа РП-23; *13, 14* — реле указательное типа РУ-21; *15—22* — отключающее устройство типа НКР-2; *23—24* — сопротивление добавочное; *25—26* — испытательный блок типа БИ; *27* — лампа сигнальная (продолжение рис. см. на след. стр.).

Примечание. На линиях, оборудованных воздушными выключателями, в цепи пуска АПВ (контакты $11РП_1$ и $12РП_1$) используются контакты реле, контролирующих давление (19 *ат*) и положение выключателя; при этом перемычки в цепи контактов $РП_3$ и $9РП_3$ снимаются.



г)



д)

Рис. 4-63. (продолжение).

Защита используется как резервная на линиях, где в качестве основной защиты установлены высокочастотная или продольная дифференциальная, реагирующие на все виды повреждений.

В схеме использованы комплектные реле типов КЗ-1, КЗ-5, КРБ-122 и РПВ-58. Взаимодействие защитных устройств осуществляется по схеме рис. 4-61, рассмотренной выше. Отличие заключается в выполнении дистанционной защиты. В качестве дистанционного элемента на панели используется одно реле типа КРС-121, предназначенное для действия при двухфазных к. з. без земли. По принципу своего исполнения реле не реагирует на симметричные режимы работы линии. Однако в схеме предусматривается блокирование первой ступени защиты при качаниях, так как это реле может неправильно работать при наложении качаний на несимметричное к. з.; это может возникнуть при неуспешном АПВ на линии, отходящей от одной из подстанций транзитной передачи, где установлена защита с реле типа КРС-121. Принимая во внимание, что защиты на всех линиях напряжением 110 *кв* и выше имеют ускорение действия защиты после АПВ, возникает опасность неправильного действия защиты только для первой ступени защиты, так как ко времени срабатывания второй ступени защиты повреждение будет уже отключено.

Ненадобиость в блокироваиии второй ступени защиты при качаниях позволяет выполнить соединение контактов дистанционного реле (реле *3—1РС*) и контактов промежуточного реле $9РП_3$ с реле времени *7РВ* без перемычки на ряде зажимов панели; по этой же причине в схеме не предусматривается контакт промежуточного реле блокировки при качаниях, срабатывающего в первый момент возникновения повреждения (реле *4—2РП*) в цепи промежуточных реле, перестраивающих защиту с первой на вторую зону, так как фиксация срабатывания дистанционного реле при повреждениях во второй зоне защиты не связана с действием блокировки при качаниях.

По этой же причине реле, перестраивающие защиту с первой зоны на вторую (реле *9—10РП*), для данной схемы приняты типа РП-23 без задержки на возврат, так как снятие с них напряжения осуществляется реле блокировки при качаниях *4—3РПВ*, имеющем время на отпадание 0,2—0,3 *сек*, достаточное для срабатывания дистанционного реле КРС-121 при повреждении в зоне первой ступени защиты.

6. Схема поперечной направленной дифференциальной защиты с трехфазным АПВ (рис. 4-63).

Схема предназначена для приемных концов параллельных линий с односторонним питанием.

На панели предусматривается поперечная направленная дифференциальная защита от междуфазных повреждений, осуществленная одним комплектным реле (реле *5*), и поперечная направленная дифференциальная защита нулевой последовательности, выполненная на другом комплекте реле (реле *6*).

Последний комплект не имеет самостоятельных промежуточных реле, но для этой цели используются промежуточные реле междуфазного комплекта зашиты. Каждый выключатель оборудован устройством трехфазного АПВ типа РПВ-58.

7. Схема поперечной дифференциальной направленной защиты, трехступенчатой направленной токовой защиты от замыканий на землю, токовой отсечки от междуфазных к. з. и трехфазным АПВ *с контролем синхронизма* (рис. 4-64).

Схема предназначена для параллельных лиий с двусторонним питанием, оборудованных суммарной

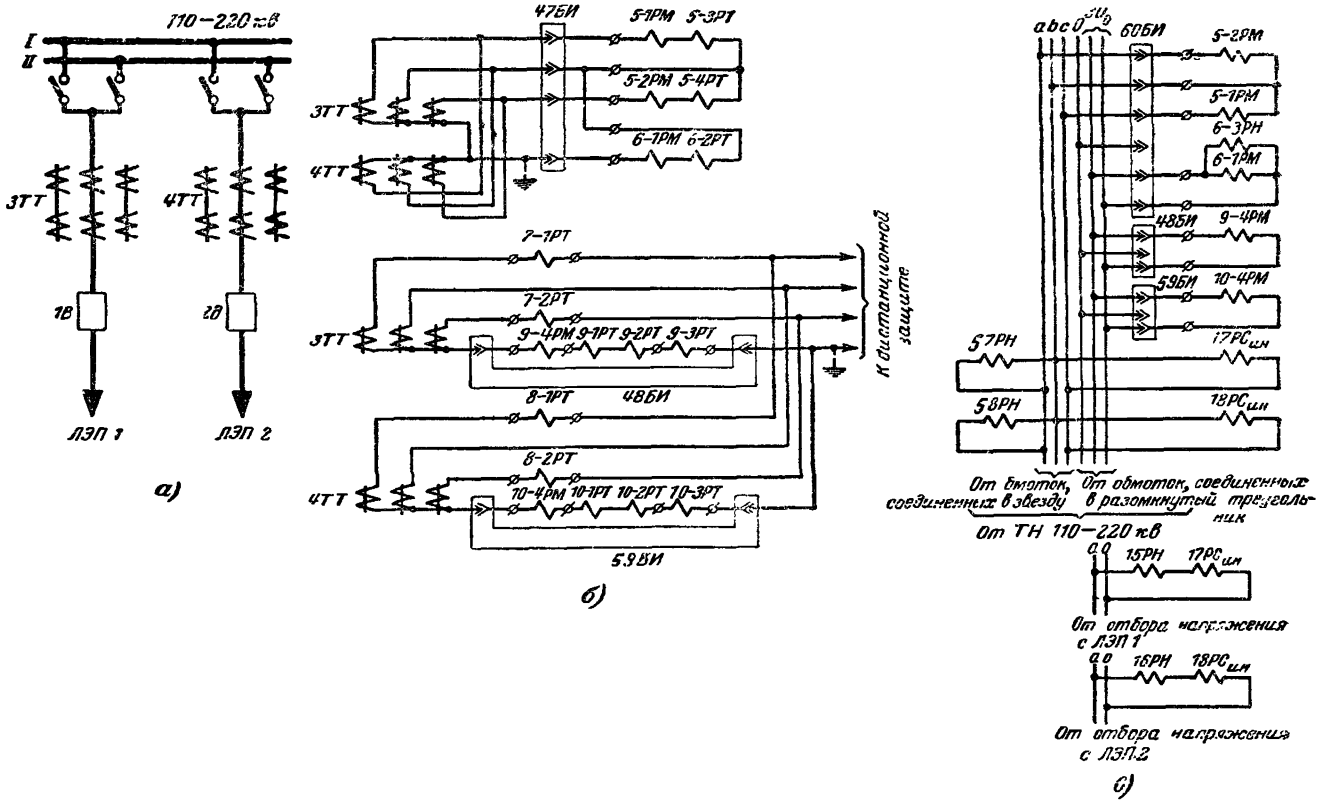
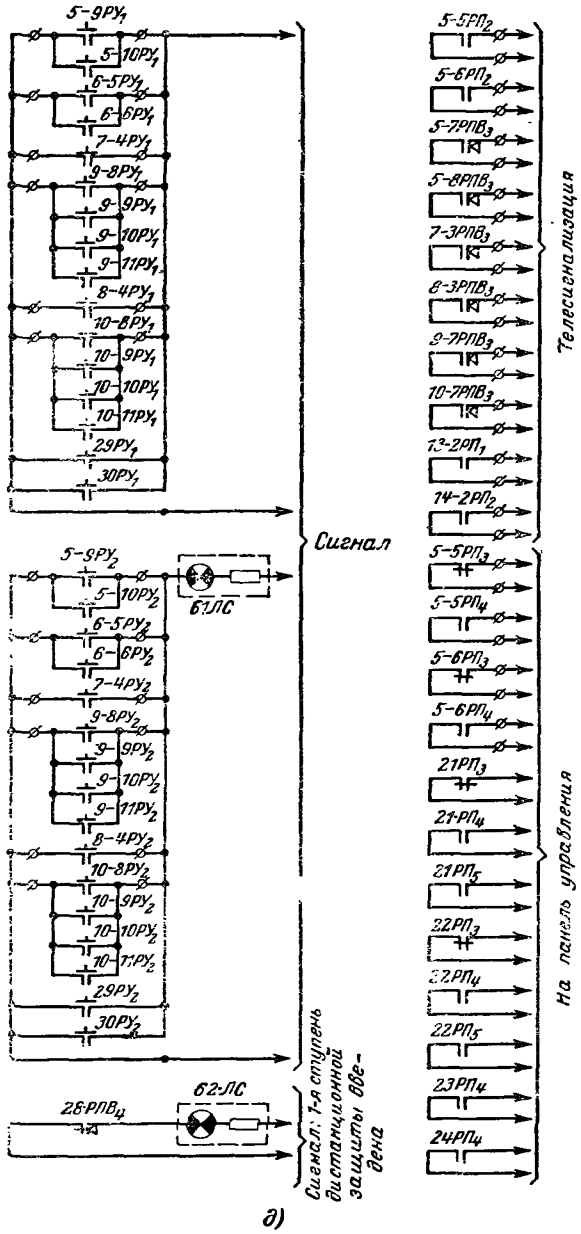
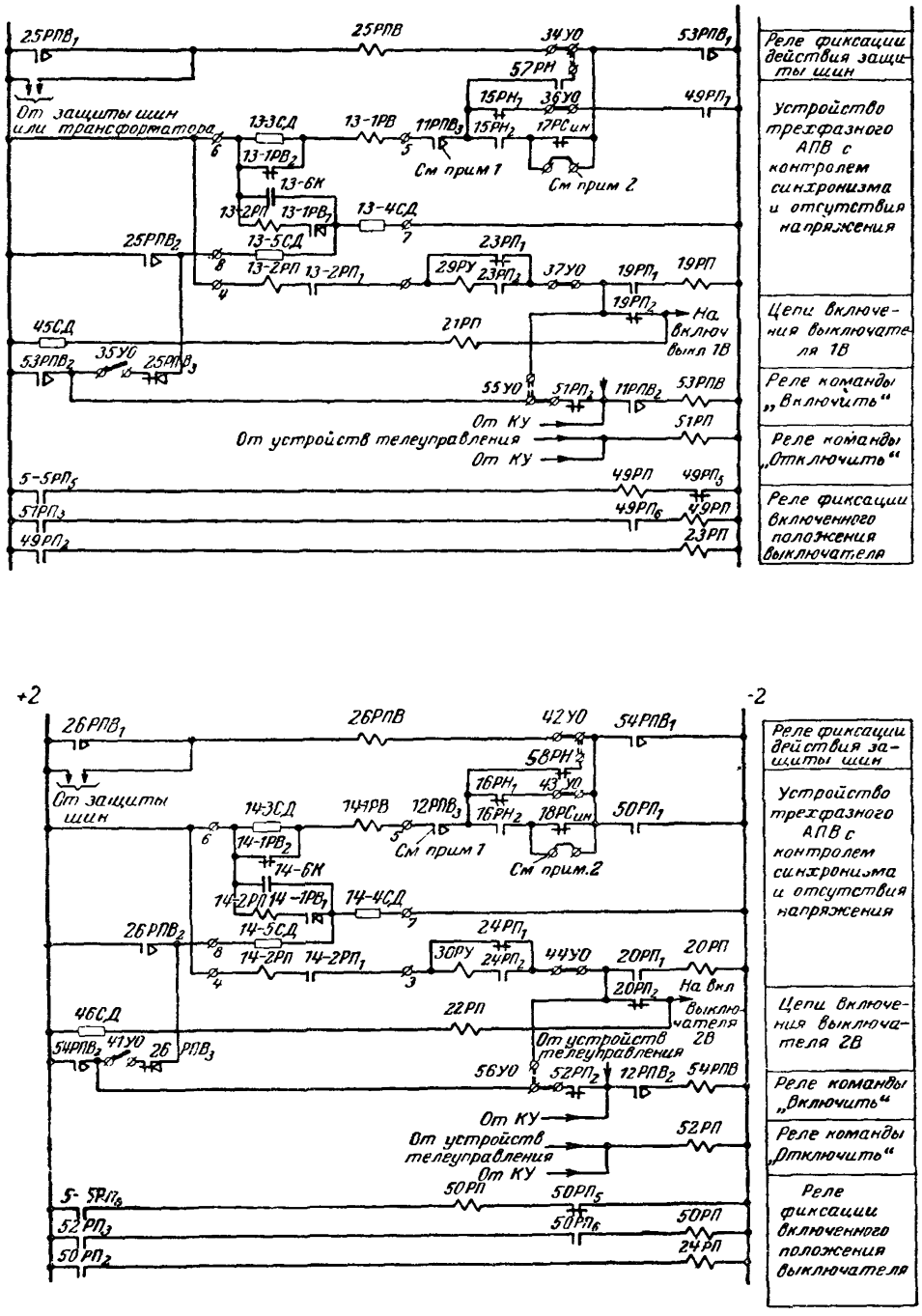


Рис. 4-64 (продолжение рисунка см. на стр. 285, 286, 287 и 288).



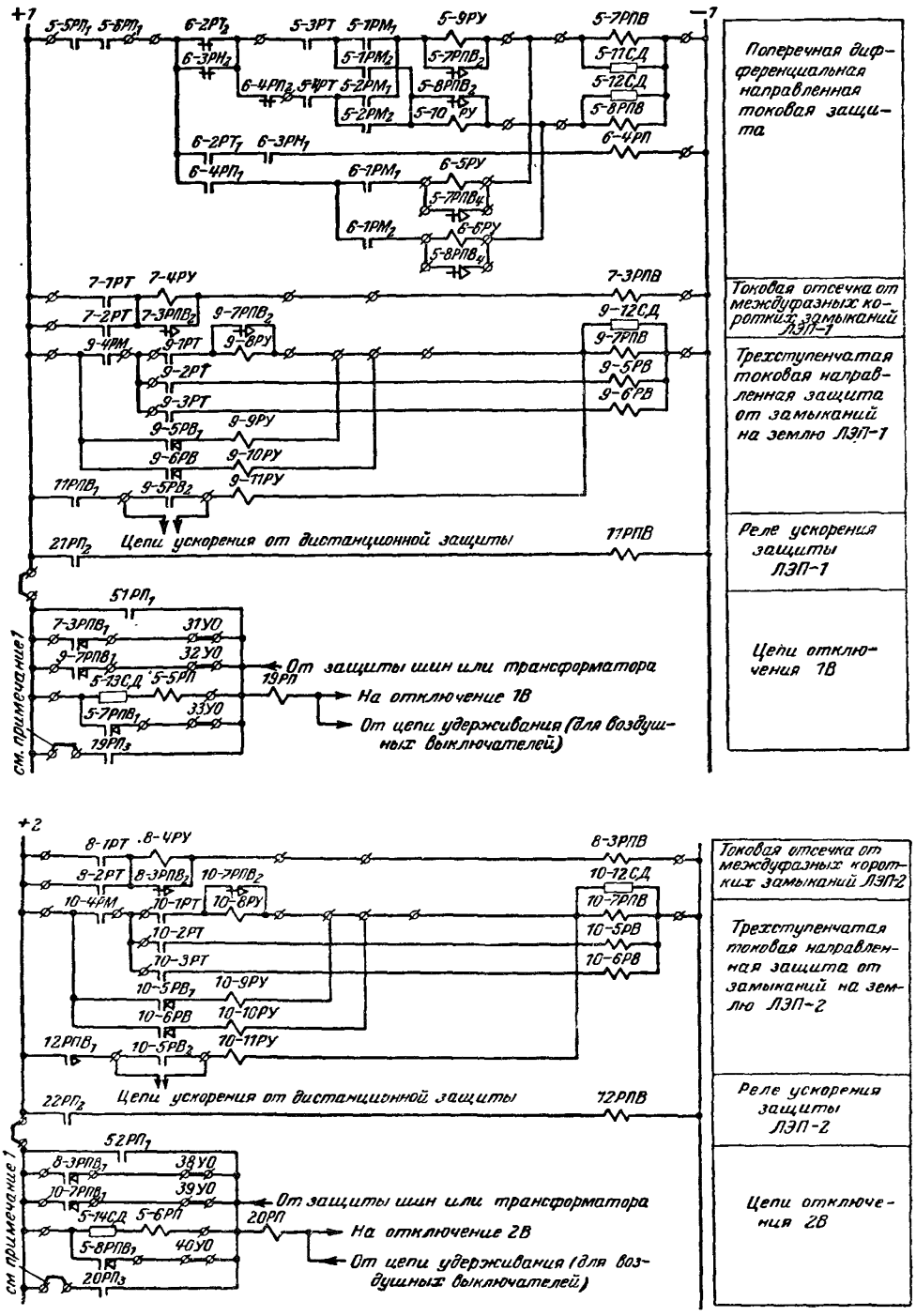
д)

Рис. 4-64 (продолжение рисунка см. на стр. 286, 287 и 288).



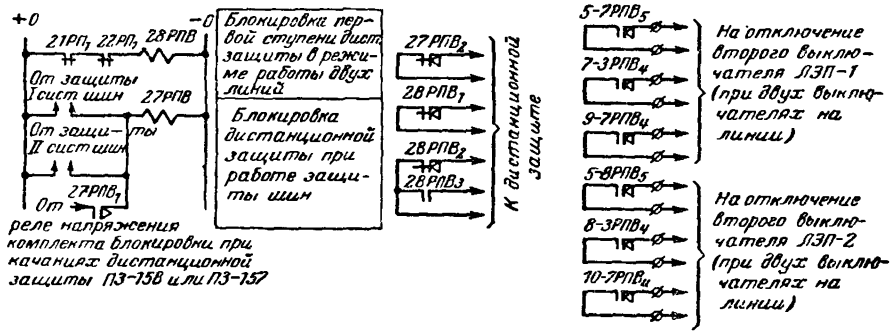
г)

Рис. 4-64 (продолжение рисунка см. на стр. 287, 288).



г)

Рис. 4-64 (продолжение рисунка см. на стр. 288).



г)

Рис. 4-64. Схема поперечной дифференциальной направленной защиты, трехступенчатой направленной токовой защиты от замыканий на землю, токовой отсечки от междуфазных к. з. и трехфазным АПВ с контролем синхронизма.

а—поясняющая схема; *б*—цепи переменного тока; *в*—цепи напряжения; *г*—цепи оперативного постоянного тока; *д*—цепи сигнализации; *1—2*—выключатель; *3—4*—трансформаторы тока; *5*—комплект защиты (блок реле); *6*—комплект защиты (блок реле); *7, 8*—комплект защиты (блок реле) типа КЗ-1; *9—10*—комплект защиты (блок реле) типа КЗ-5; *11, 12*—реле промежуточное типа РП-252; *13, 14*—реле АПВ типа РПВ-58; *15, 16*—реле напряжения типа ЭН-529; *17, 18*—реле контроля синхронизма типа ЭН-535; *19—20*—реле промежуточное типа РП-232; *21—24*—реле промежуточное типа РП-23; *25—28*—реле промежуточное типа РП-252; *29—30*—реле указательное типа РУ-21; *31—44*—отключающее устройство типа НКР-2; *45—46*—сопротивление добавочное; *47, 48*—испытательный блок типа БИ; *49, 50*—реле промежуточное типа РП-352; *51, 52*—реле промежуточное типа РП-23; *53, 54*—реле промежуточное типа РП-252; *55, 56*—отключающее устройство типа НКР-2; *57, 58*—реле напряжения типа ЭН-526; *59, 60*—испытательный блок типа ВИ; *61, 62*—лампа сигнальная.

Примечания: 1. На линиях, оборудованных воздушными выключателями, в цепи пуска АПВ (контакты *11РПВ2* и *12РПВ2*) используются контакты реле, контролирующих давление (19 *ат*) и положение выключателей; при этом перемычки в цепях контактов *19РП3* и *20РП3* снимаются.

2. В случае, когда на линиях используется несинхронное АПВ с контролем наличия напряжения, на панели должны быть установлены перемычки, шунтирующие контакты реле контроля синхронизма.

дистанционной защитой типа ПЗ-157 или ПЗ-158. На панели устанавливается оборудование, комплектуемое по схемам рис. 4-62 и 4-63; дополнительно располагаются промежуточные реле, предназначенные для применения дистанционных комплектных защит, включенных на сумму токов обеих ЛЭП. Блокировка первой ступени защиты в режиме работы двух ЛЭП осуществляется с помощью промежуточного реле *28РПВ*, управляемого контактами реле положения (реле *21РП* и *22РП*). Это же реле (контакты $28РПВ_2$ и $28РПВ_3$) используется для целей перестройки второй ступени дистанционной защиты в зависимости от режима работы одной или двух ЛЭП, когда это необходимо по условиям обеспечения ее чувствительности.

В схеме предусмотрено промежуточное реле *27РПВ*, обеспечивающее блокирование суммарной дистанционной защиты при действии защиты шин, иначе возможно неправильное действие дистанционной защиты в случае повреждения той системы сборных шин, на которой был установлен трансформатор напряжения, питающий цепи напряжения этой защиты. Реле *27РПВ* имеет самоудерживание от реле напряжения комплекта блокировки при качаниях комплектной панели ПЗ-157 или ПЗ-158. Это обеспечивает самовозврат блокирующего реле *27РПВ* при восстановлении напряжения на шинах (успешное АПВ шин).

4-12. УСТРОЙСТВА РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ОТКАЗА ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Общие положения

Возросший уровень мощностей короткого замыкания в современных энергосистемах затрудняет возможность действия резервных защит на смежных элементах при неотключившемся коротком замыкании.

Это обусловлено значительной подпиткой между местом короткого замыкания и местом включения резервной защиты. При этом имеющийся опыт эксплуатации выявил возможность отказа в действии высоковольтных выключателей, в особенности воздушных.

В настоящем разделе справочника приведены схемы устройств резервирования отказа выключателей, обеспечивающие отключение выключателей, ближайших к отказавшему.

Принцип построения схем сводится к следующему:

а) Пуск схем устройства резервирования отказа выключателей осуществляется от выходных промежуточных реле защит, установленных на рассматриваемых элементах (линиях, трансформаторах, шинах).

б) Устройство действует с выдержкой времени, необходимой для фиксации отказа выключателя.

в) В схему устройства вводится дополнительный контроль неотключившегося короткого замыкания, что предотвращает неправильное действие устройства при ошибках персонала (замыкание контактов выходных промежуточных реле).

Ниже рассматриваются два варианта выполнения схемы устройства резервирования отказа выключателей (рис. 4-65,*а* и *б*):

1. *Схема устройства резервирования отказа выключателей с общим дополнительным пусковым органом напряжения для двойной системы шин 110—220 кв с фиксированным распределением элементов при наличии обходного выключателя* (рис. 4-65,*а*).

По данной схеме целесообразно выполнять устройство резервирования при условии, что к сборным шинам присоединено большое количество элементов (суммарное количество превышает 8). В этом случае оправдана установка общего пускового органа, контролирующего наличие неотключившегося к. з.

Пусковой орган выполнен при помощи двух устройств фильтр-реле напряжения обратной последовательности (реле *17РНФ* и *18РНФ*), двух реле минимального напряжения (реле *19РН* и *20РН*) и двух реле напряжения нулевой последовательности (реле *21РН* и *22РН*) — по одному комплекту реле на каждую систему

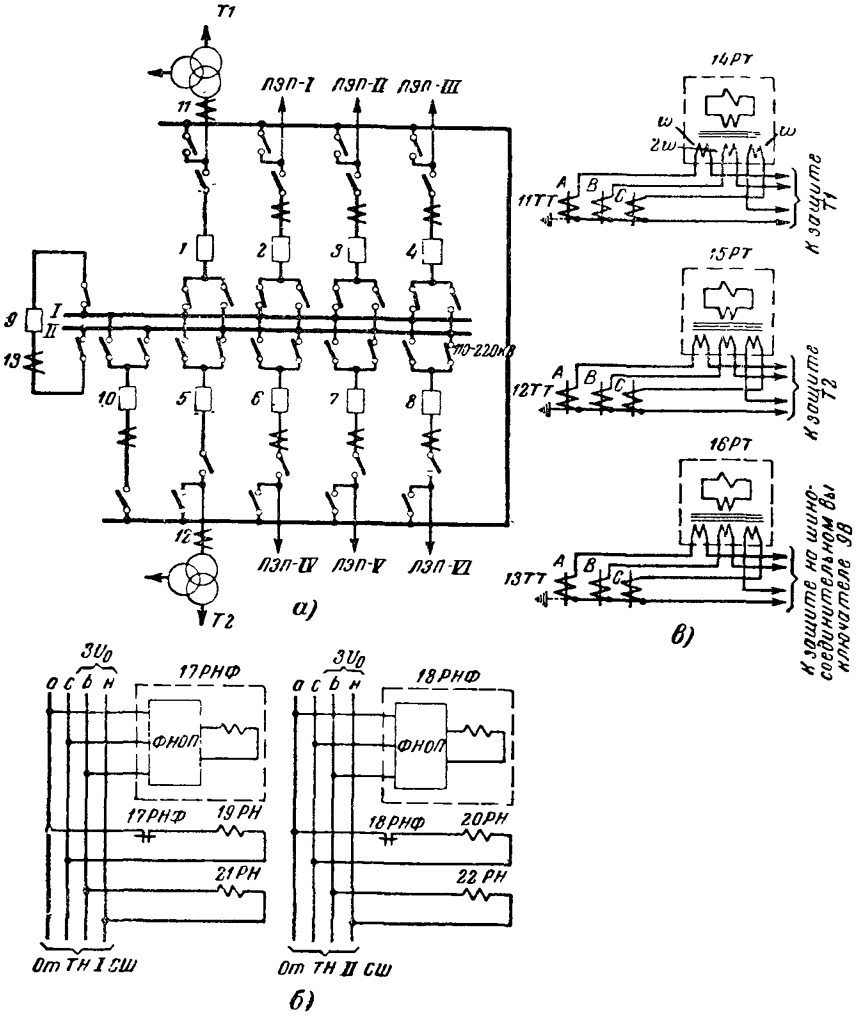


Рис. 4-65а. Схема устройства резервирования отказа выключателей с общим дополнительным пусковым органом напряжения для двойной системы шин 110—220 *кв* с фиксированным распределением элементов при наличии обходного выключателя.

а — поясняющая схема; *б* — цепи напряжения; *в* — цепи переменного тока; *1—10* — выключатель; *11—13* — трансформаторы тока; *14—16* — реле тока типа ЭТ-523/Р; *17, 18* — устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *19—20* — реле напряжения типа ЭН-529/160; *21—22* — реле напряжения типа ЭН-526/7Ф; *23* — реле времени типа ЭВ-113А; *24* — реле времени типа ЭВ-132А; *25—30* — реле промежуточное типа РП-23; *31* — реле промежуточное типа РП-255; *32—37* — реле промежуточное типа РП-23; *38* — реле сигнальное типа РУ-21; *39—45* — устройство отключающее типа НКР-2; *46—47* — сопротивление добавочное.

Примечание. В схеме приняты следующие обозначения контактов выходных промежуточных реле защит, пускающих устройство резервирования: *Л-I—Л-IV* — для защит линий; *Т-I* и *Т-II* — для защит трансформаторов; *Ш-1* и *Ш-II* для избирательных и пусковых органов соответственно *I* и *II* систем шин; *ОВ* — для защиты на обходном выключателе.

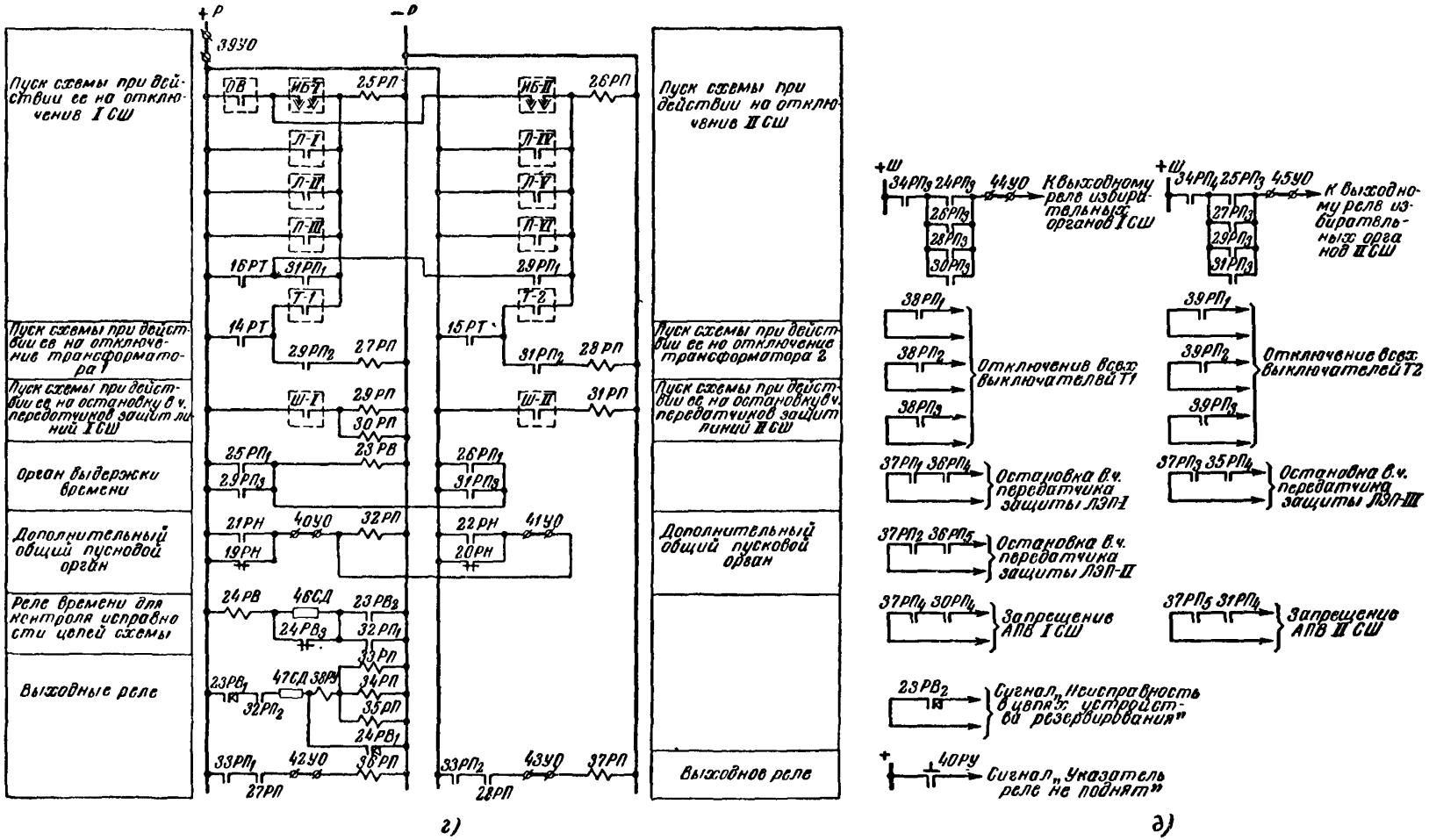


Рис. 4-65а. Схема устройства резервирования отказа выключателей с общим дополнительным пусковым органом напряжения для двойной системы шин 110—220 *кв* с фиксированным распределением элементов при наличии обходного выключателя.

г и *д*—цепи постоянного тока и цепи сигнализации; *1—10*—выключатель; *11—13*—трансформаторы тока; *14—16*—реле тока типа ЭТ-523/Р; *17, 18*—устройство фильтр-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1; *19—20*—реле напряжения типа ЭН-529/160; *21—22*—реле напряжения типа ЭН-526/7Ф; *23*—реле времени типа ЭВ-113А; *24*—реле времени типа ЭВ-132А; *25—30*—реле промежуточное типа РП-23; *31*—реле промежуточное типа РП-255; *32—37*—реле промежуточное типа РП-23; *38*—реле сигнальное типа РУ-21; *39—45*—устройство отключающее типа НКР-2; *46—47*—сопротивление добавочное.

Примечание. В схеме приняты следующие обозначения контактов выходных промежуточных реле защит, пускающих устройство резервирования: *Л-I—Л-IV*—для защит линий; *Т-I* и *Т-II*—для защит трансформаторов; *Ш-I* и *Ш-II* для избирательных и пусковых органов соответственно *I* и *II* систем шин; *ОВ*—для защиты на обходном выключателе.

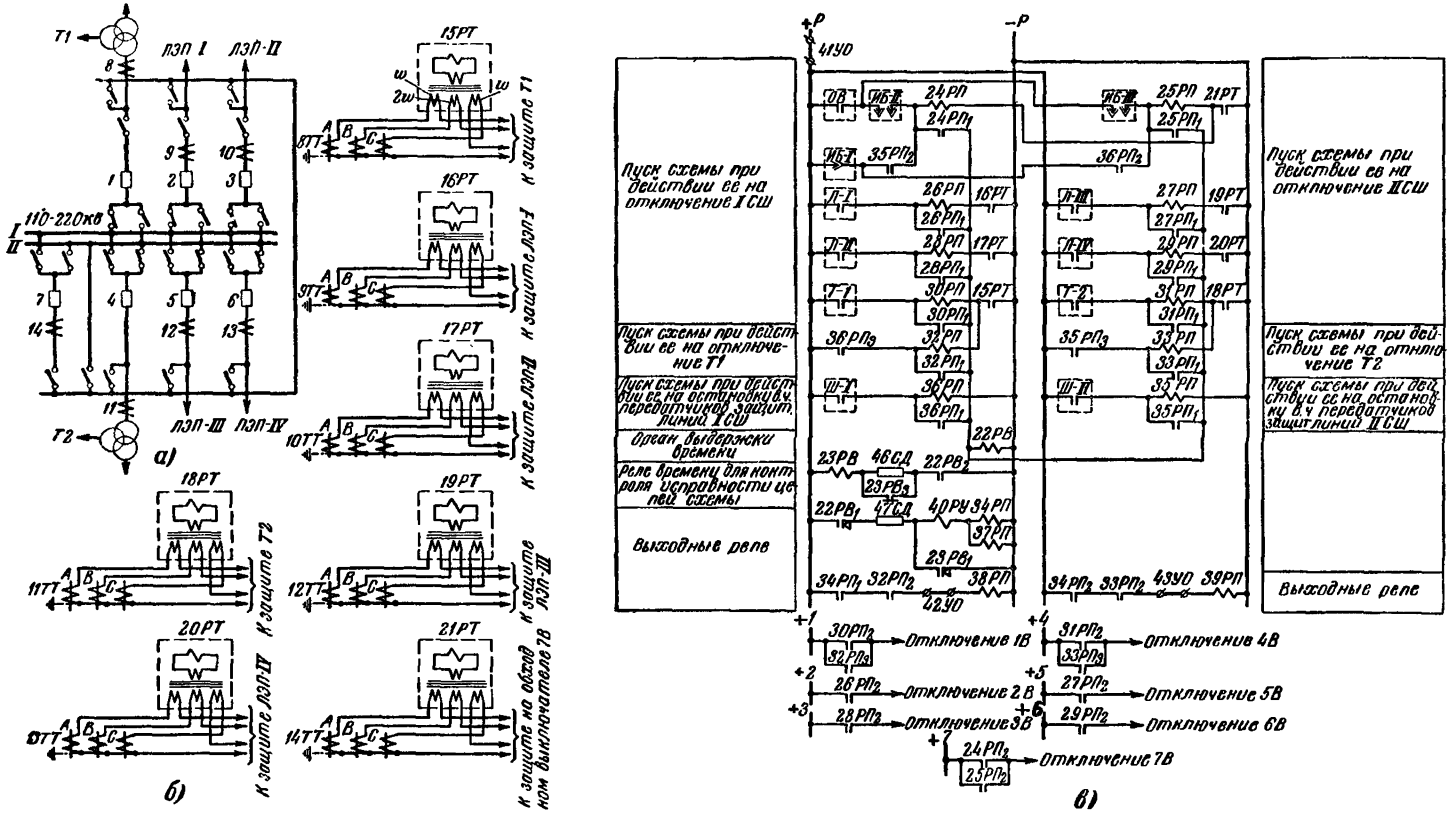


Рис. 4-65б. Схема устройства резервирования отказа выключателей с реле тока в цепи каждого выключателя для двойной системы шин 110—220 *кв* с фиксированным распределением элементов при использовании обходного выключателя в качестве шиносоединительного.

а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* — цепи постоянного тока и цепи сигнализации; *1—7* — выключатель; *8—14* — трансформаторы тока; *15—21* — реле тока типа ЭТ-523/Р; *22* — реле времени типа ЭВ-113-А; *23* — реле времени типа ЭВ-132А; *24—35* — реле промежуточное типа РП-23; *36—37* — реле промежуточное типа РП-255; *38—40* — реле указательное типа РУ-21; *41—45* — устройство отключающее типа НКР-2; *46—47* — сопротивление добавочное.

Примечание. В схеме приняты следующие обозначения контактов выходных промежуточных реле защит, пускающих устройство резервирования: *Л-I, Л-IV* — для защит линий; *Т-I, Т-II* — для защит трансформаторов; *Ш-I* и *Ш-III* — для избирательных и пусковых органов соответственно I и II систем шин; *ОВ* — для защиты на обходном выключателе.

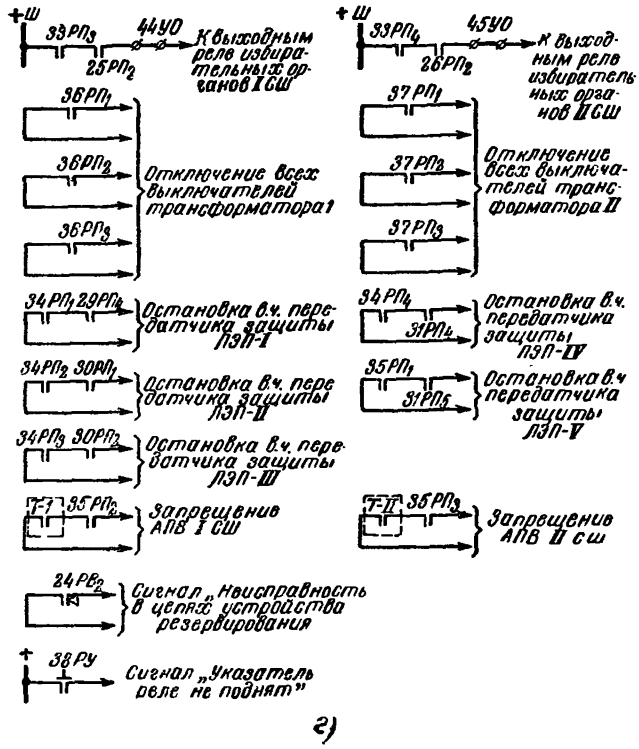


Рис. 4-65б. Схема устройства резервирования отказа выключателей с реле тока в цепи каждого выключателя для двойной системы шин 110—220 *кв* с фиксированным распределением элемеитов при использовании обходного выключателя в качестве шиносоединительного.
а — поясняющая схема; *б* — цепи переменного тока; *в* и *г* — цепи постояиного тока и цепи сигнализации; *1—7* — выключатель; *8—14* — трансформаторы тока; *15—21* — реле тока типа ЭТ-523/Р; *22* — реле времени типа ЭВ-113-А; *23* — реле времеии типа ЭВ-132А; *24—35* — реле промежуточное типа РП-23; *36—37* — реле промежуточное типа РП-255; *38—40* — реле указательиое типа РУ-21; *41—45* — устройство отключающее типа НКР-2; *46—47* — сопротивление добавочное.

Примечание. В схеме приняты следующие обозначения коитактов выходных промежуточных реле защит, пускающих устройство резервирования: *Л-I, Л-IV* — для защит линий; *Т-I, Т-II* — для защит трансформаторов; *Ш-I* и *Ш-II* для избирательных и нусковых органов соответственно I и II систем шин; *ОВ* — для защиты на обходном выключателе.

сборных шин. Применение реле, реагирующих на обратную и нулевую последовательность, и реле, включенных на линейное напряжение, продиктовано желаннем иметь достаточную чувствительность пускового органа ко всем видам короткого замыкания.

В схеме предусматриваются трехфазные реле тока, установленные:

а) в цепях трансформаторов (реле *14РТ* и *15РТ*) для обеспечения выбора направлення действня устройства резервирования соответственно при к. з. на первой системе сборных шин при отказе выключателя *1В* на отключение трансформатора *I* через реле *29РП* и *27РП*, а при к. з. на второй системе сборных шин с отказом выключателя *5В* на отключение трансформатора *II* через реле *31РП* и *28РП*;

б) в цепи шиносоединительного выключателя *9В* (реле *16РТ*) для обеспечения выбора направления действия устройства резервирования при к. з. на первой системе сборных шин с отказом выключателя *9В* на отключение второй системы сборных шин через реле *29РП* и *26РП*, а при к. з. на второй системе сборных шин с отказом выключателя *9В* на отключение первой системы сборных шин через реле *31РП* и *25РП*.

Выдержка времени в данной схеме осуществляется при помощи реле времени *23РВ*.

В схеме предусмотрен контроль исправности цепей устройства резервирования, осуществляемый при помощи реле времени *24РВ*.

2. *Схема устройства резервирования отказа выключателей с реле тока в цепи каждого выключателя для двойной системы шин 110—220 кв с фиксированным распределением элементов при использовании обходного выключателя в качестве шиносоединительного* (рис. 4-65,*б*).

По данной схеме целесообразно выполнять устройство резервирования при условии, что к сборным шинам присоединено сравнительно небольшое количество элементов (суммарное колнчество не превышает 8). В этом случае установка индивидуальных трехфазных токовых реле типа ЭТ-523/Р не приводит к чрезмерному усложнению схемы в целом.

Каждая пусковая цепь устройства контролируется соответствующим трехфазным реле тока, установленным в цепи того выключателя, при отказе которого замыкается даиная пусковая цепь (реле *15РТ—21РТ*); в каждой пусковой цепи предусматривается специаль-

ное промежуточное реле (реле *24РП—33РП*), действующее при срабатывании без выдержки времени на отключение одного выключателя, в цепи которого установлено реле тока, контролирующее данную цепь; эти же промежуточные реле используются для пуска органа выдержки времени устройства (реле *22РВ*) и устанавливают направление действия устройства.

В случае ошибочных операций персонала размыкание контактов трехфазного токового реле после отключения данного выключателя предотвращает действие устройства на отключение ряда других выключателей.

4-13. КОМПЛЕКТНЫЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ НА ОПЕРАТИВНОМ ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Общие положения

1. В качестве источников оперативного тока используются трансформаторы тока и напряжения.

2. В тех случаях, когда конструкция выключателя позволяет применить пружинно-грузовой привод (выключатели ВМГ-133, МГ-35, ВМГ-35 и т. д.), используются схемы защиты с прямым включением отключающих катушек этих приводов в цепи защиты или с дешунтированием отключающих катушек, включенных в цепи трансформаторов тока.

3. Выключатели, требующие большого махового момента для производства отключения (выключатели МГ-10, МКП-35 и т. п.), снабжаются соленоидными приводами постоянного тока. В этих случаях для питания отключающих катушек рекомендуется использование энергии предварительно заряженных конденсаторных батарей. Заряд конденсаторов осуществляется зарядными устройствами, получающими питание от источников переменного тока (трансформатора напряжения или трансформатора собственного расхода).

4. Приведенные схемы комплектных устройств, осуществляющих защиту с использованием реле косвенного действия с дешунтированием отключающих катушек выключателей, с 1962 г. серийно выпускаются Чебоксарским электроаппаратным заводом.

5. Схемы защит со встроенными реле прямого действия приведены в разделе 9 настоящего справочника.

Принципиальные схемы защиты

1. *Схема максимальной токовой защиты в однорелейном исполнении с независимой выдержкой времени; комплект типа КЗ-31* (рис. 4-66).

Схема предназначена для защиты линий 3—35 *кв* с односторонним питанием, там, где по условию чувствительности допустимо выполнение защиты с одним токовым реле, включенным на разность фазных токов.

В комплектный кожух помещены: промежуточное реле (*РП*) типа РП-341 с мощными мостящими контактами, позволяющими отключать токи до 150 *а*;

реле времени (*РВ*) типа РВМ-13 с двумя контактами — проскальзывающим и упорным;

токовое реле (*РТ*) типа РТ-50;

сигнальное реле (*РУ*) типа РУ-21.

Промежуточное реле (*РП*) и реле времени (*РВ*) имеют промежуточные насыщающиеся трансформаторы, включаемые в цепи трансформаторов тока (*Трп* и *Трв*). Выдержка времени в реле времени создается механизмом, приводимым в действие моторчиком.

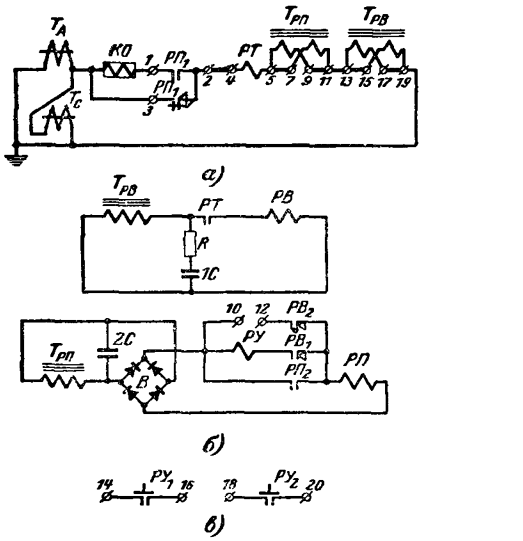


Рис. 4-66. Схема максимальной токовой защиты в однорелейном исполнении с независимой выдержкой времени. Комплект защиты (блок реле) типа КЗ-31.

а — цепи переменного тока; *б* — цепи оперативного переменного тока; *в* — цепи сигнализации.

Проскальзывающий контакт реле времени может быть использован для создания цепи ускорения действия защиты после АПВ.

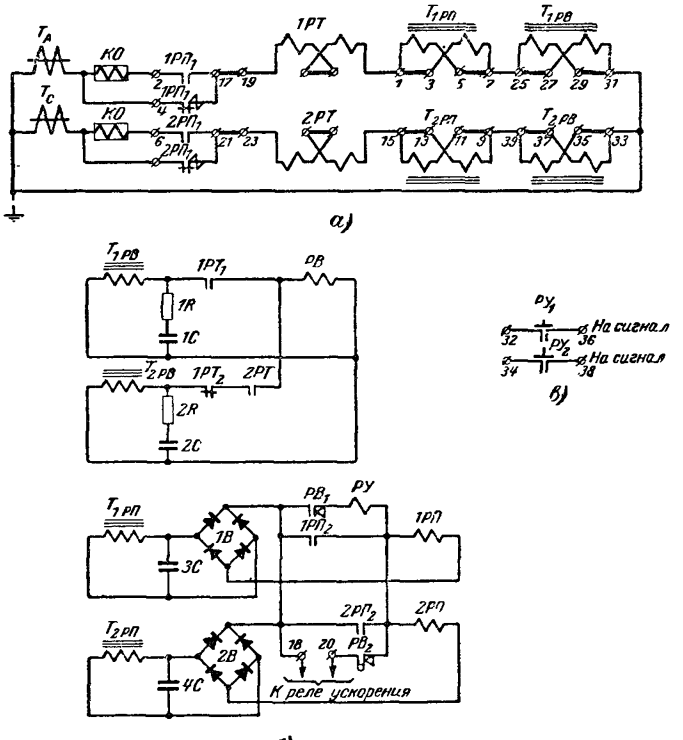


Рис. 4-67. Схема максимальной токовой защиты в двухрелейном исполнении с независимой выдержкой времени. Комплект защиты (блок реле) типа КЗ-32.

а — цепи переменного тока; *б* — цепи оперативного переменного тока; *в* — цепи сигнализации.

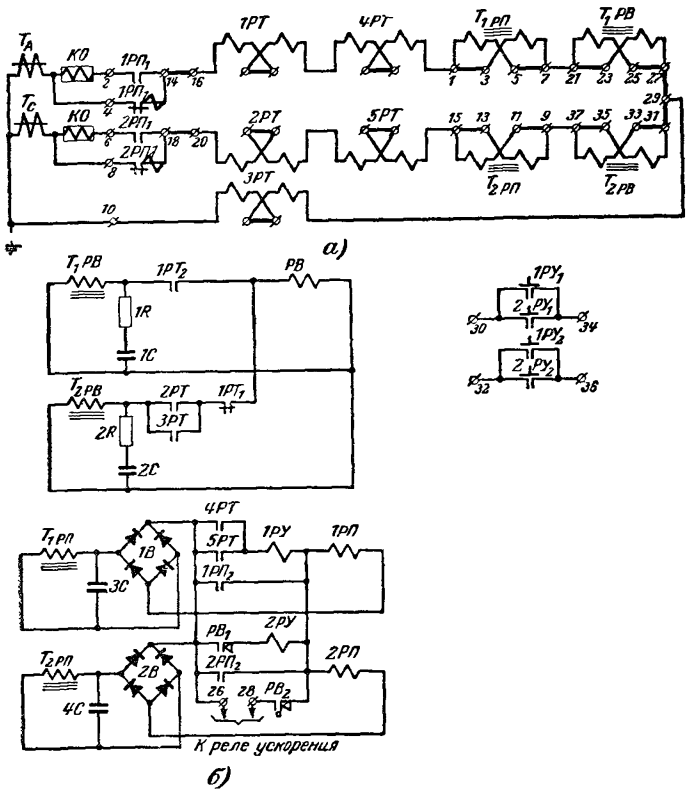


Рис. 4-68. Схема максимальной токовой защиты в трехрелейном исполнении в сочетании с токовой отсечкой в двухфазном исполнении. Комплект защиты (блок реле) типа КЗ-33.
а — цепи переменного тока; *б* — цепи оперативного переменного тока; *в* — цепи сигнализации.

2. *Схема максимальной токовой защиты в двухрелейном исполнении с независимой выдержкой времени; комплект типа КЗ-32* (рис. 4-67).

Схема предназначена для защиты линий 3—35 *кв* с односторонним питанием, там, где по условию чувствительности недопустимо выполнение защиты с одним токовым реле. Комплектное реле может быть использовано для осуществления резервной защиты генераторов и трансформаторов малой мощности (до 1 000 *ква*).

В кожух встроено оборудование, такое же, как и в кожух реле КЗ-31, и дополнительно еще одно токовое реле (*2РТ*) типа РТ-50.

3. *Схема максимальной токовой защиты в трехрелейном исполнении в сочетании с токовой отсечкой в двухфазном исполнении; комплект типа КЗ-33* (рис. 4-68).

Схема предназначена для защиты реактированных линий 3—6—10 *кв* в том случае, если выключатель, установленный на линии, рассчитан на отключение тока к. з. до реактора и для защиты радиальных линий 35 *кв* с односторонним питанием.

В комплектный кожух помещены, помимо промежуточного реле, реле времени и указательного реле тех же типов, что и в кожухе КЗ-32, три токовых реле типа РТ-50 для осуществления максимальной токовой защиты и два токовых реле, также типа РТ-50, для осуществления токовой отсечки.

Наличие трех токовых реле в схеме максимальной токовой защиты делает ее в 2 раза более чувствительной по сравнению с двухрелейной схемой при двухфазных к. з. за трансформатором с соединением обмоток звезда-треугольник.

4. *Схема максимальной токовой направленной защиты в двухрелейном исполнении; комплект типа КЗ-34* (рис. 4-69).

Схема предназначена для защиты линий 3—35 *кв* с двусторонним питанием. Комплект может использоваться в качестве основной защиты там, где не требуется быстродействие, и в качестве резервной защиты во всех остальных случаях, когда основная быстродействующая защита выполнена с помощью других реле. В кожухе для создания направленности в защите применяются реле ИМБ-171 или РБМ-171, включаемые по 90-градусной схеме. Внутренний угол сдвига реле направления мощности 45°.

Помимо упомянутых реле мощности, в кожух встроено релейное оборудование, соответствующее схеме комплекта типа КЗ-32.

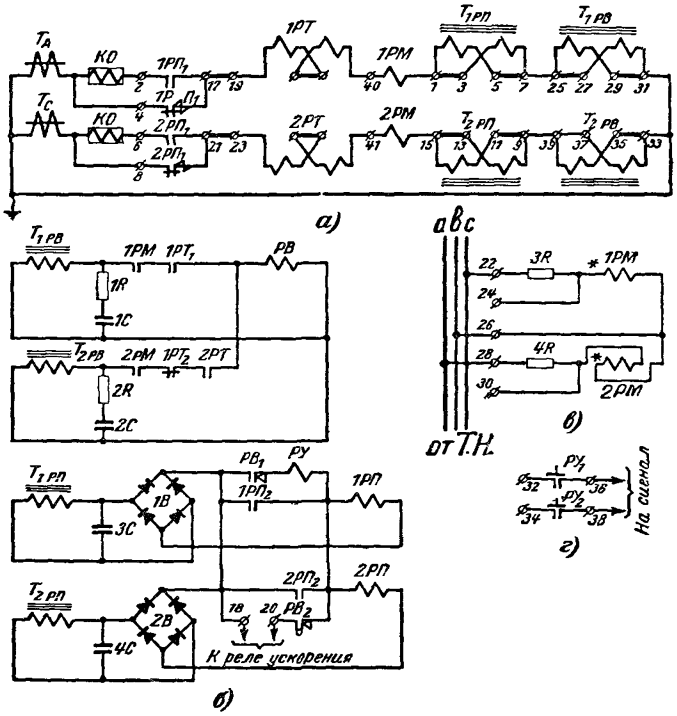


Рис. 4-69. Схема максимальной токовой направленной защиты в двухрелейном исполнении. Комплект защиты (блок реле) типа КЗ-34.
а — цепи переменного тока; *б* — цепи оперативного переменного тока; *в* — цепи напряжения; *г* — цепи сигнализации.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

РАСЧЕТ УСТАВОК И ХАРАКТЕРИСТИК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

5-1. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА С БЛОКИРОВКОЙ МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

а) Ток срабатывания

Для генераторов и трансформаторов

$$I_{ср} = \frac{k_н k_{сх}}{k_в} \frac{I_{ном}}{n_т}, \qquad (5\text{-}1)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1—1,25;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$k_в$ — коэффициент возврата реле ($k_в < 1$);

$k_{сх}$ — коэффициент схемы, равный при включении реле на фазные токи $k_{сх} = 1$, при включении на разность токов $k_{сх} = \sqrt{3}$;

$I_{ном}$ — номинальный первичный ток защищаемого генератора, трансформатора.

Для воздушных и кабельных линий электропередач

$$I_{ср} = \frac{k_н k_{сх}}{k_в} \frac{I_{нагр.норм}}{n_т}, \qquad (5\text{-}2)$$

где $I_{нагр.норм}$ — *наибольший ток нагрузки нормального* режима.

б) Напряжение срабатывания

$$U_{ср} = \frac{U_{мин}}{k_н k_в n_н}, \qquad (5\text{-}3)$$

где $U_{мин}$ — минимальное возможное эксплуатационное напряжение в месте установки защиты;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1;

$k_в$ — коэффициент возврата ($k_в > 1$);

$n_н$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Для предупреждения срабатывания максимальной токовой защиты с блокировкой минимального напряжения генераторов при самозапуске нагрузки потребителей и при асинхронном ходе турбогенераторов допускается принимать

$$U_{ср} = 0{,}5 - 0{,}6 U_{ном}.$$

в) Коэффициент чувствительности

Для пусковых токовых реле

$$k_ч = \frac{I_{к.мин}}{I_{ср} n_т}, \qquad (5\text{-}4)$$

где $I_{к.мин}$ — минимальный ток короткого замыкания при коротком замыкании в конце зоны действия защиты, определяемый расчетом в реально возможном минимальном режиме (раздел 1).

Для реле минимального напряжения

$$k_ч = \frac{U_{ср} n_н}{U_{к.макс}}, \qquad (5\text{-}5)$$

где $U_{к.макс}$ — максимальное остаточное напряжение при коротком замыкании в конце зоны действия защиты, определяемое расчетом в реально возможном максимальном режиме.

Коэффициенты чувствительности должны иметь следующие значения:

при коротком замыкании в конце основного участка — не менее 1,5;

при коротком замыкании в конце резервируемого участка — не менее 1,2.

г) Выдержка времени

Выдержка времени максимальной токовой защиты с блокировкой минимального напряжения, имеющей, как правило, независимую характеристику, выбирается по ступенчатому принципу.

Согласно этому принципу каждая последующая защита, расположенная ближе к источнику питания, должна иметь выдержку времени больше, чем предыдущая, на величину ступени селективности, т. е.

$$t_n = t_{(n-1)} + \Delta t, \qquad (5\text{-}6)$$

где t_n — выдержка времени n-й защиты, считая по направлению к источнику питания (последующей);

$t_{(n-1)}$ — выдержка времени защиты, имеющей номер на единицу меньше, т. е. предыдущей по отношению к n-й;

Δt — ступень селективности (табл. 5-1).

Таблица 5-1

Выключатели	Ступени селективности защиты	
	с независимой характеристикой, *сек*	с зависимой характеристикой, *сек*
Воздушные	0,4—0,45	0,5—0,6
Масляные	0,5—0,6	0,6—0,8

5-2. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

а) Ток срабатывания

$$I_{ср} = \frac{k_н k_{сх}}{k_в} \frac{I_{нагр.макс}}{n_т}, \qquad (5\text{-}7)$$

где $I_{нагр.макс}$ — максимальный ток нагрузки, который может проходить по защищаемому элементу в наиболее тяжелом, но реальном режиме работы, например при аварийном отключении параллельно работающих трансформаторов или линий, пуске или самозапуске электродвигателей (раздел 2) и т. п.

В случаях, когда обеспечиваются указанные в § 5-1,в коэффициенты чувствительности, ток срабатывания рекомендуется выбирать по выражению

$$I_{ср} = \frac{3I_{ном}}{n_т} k_{сх}, \qquad (5\text{-}8)$$

где $I_{ном}$ — номинальный ток защищаемого оборудования.

Если при кратности тока срабатывания, равной 3, не обеспечиваются указанные в § 5-1,в коэффициенты чувствительности, то ток срабатывания определяется по выражению

$$I_{ср} = \frac{I_{к.мин} k_{сх}}{k_ч n_т}, \qquad (5\text{-}9)$$

где $k_ч = 1{,}5$ при коротком замыкании в конце основного и 1,2—в конце резервируемого участков;
$I_{к.мин}$ — то же, что в (5-4);
$k_{сх}$; $n_т$ — то же, что в (5-1) и (5-7).

При этом должна быть проверена надежность отстройки от максимального тока нагрузки и токов самозапуска по (5-7).

Ток срабатывания максимальной токовой защиты генераторов мощностью менее 1 000 *квт*, не имеющей блокировки минимального напряжения, принимается равным

$$I_{ср} = \frac{(2 \div 2{,}5) I_{ном}}{n_т} k_{сх}. \qquad (5\text{-}10)$$

Ток срабатывания, выбранный по условиям (5-7)—(5-10), должен быть согласован по чувствительности с защитами, установленными на смежных элементах.

Согласование производится, как указано в § 5-2,*б*.

б) Согласование по чувствительности

Максимальные токовые защиты, установленные на последовательных участках, должны быть согласованы по чувствительности так, чтобы защита, установленная ближе к источнику питания, не была чувствительнее более удаленной защиты.

Для этого токи срабатывания должны удовлетворять условию

$$I_{срп} = (1{,}1 \div 1{,}3) \frac{I_{ср(п-1)}}{k_р}, \qquad (5\text{-}11)$$

где $I_{срп}$ — ток срабатывания последующей защиты;
$I_{ср(п-1)}$ — ток срабатывания предыдущей защиты;
$k_р$ — коэффициент разветвления токов, определяемый согласно § 5-2,в.

в) Коэффициент разветвления

Коэффициент разветвления $k_р$ представляет собой отношение токов, проходящих по элементам схемы, токи срабатывания защит которых согласовываются по чувствительности. Коэффициент разветвления может быть как больше, так и меньше единицы. Так, например, в схеме рис. 5-1 для случая согласования тока срабатывания защиты п/ст. *А* с током срабатывания защиты п/ст. *Б* коэффициент разветвления определяется как отношение

$$k_р = \frac{I_{БВ}}{I_{АБ}} > 1, \qquad (5\text{-}12)$$

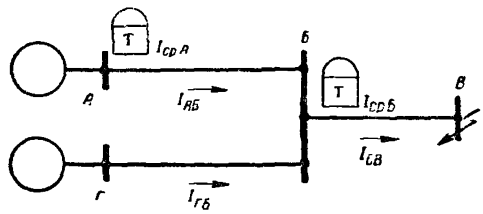


Рис. 5-1. Схема участка сети для $k_р > 1$.

так как

$$I_{БВ} = I_{АБ} + I_{ГБ} > I_{АБ}.$$

В схеме рис. 5-2 для случая согласования токов срабатывания защит на п/ст. *А* и *Б* коэффициент разветвления определяется отношением

$$k_р = \frac{I_{БВ}}{I_{АБ}} < 1, \qquad (5\text{-}13)$$

так как

$$I_{АБ} = I_{БВ} + I_{БГ} > I_{БВ}.$$

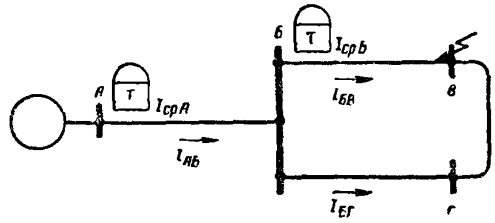


Рис. 5-2. Схема участка сети для $k_р < 1$.

г) Коэффициент чувствительности

Коэффициенты чувствительности определяются по (5-4) и должны иметь значения, указанные в § 5-1,*в*.

При определении $k_ч$ защиты, включенной на разность токов, $I_{к.мин}$ определяется при двухфазном к. з. между фазами, на одной из которых нет трансформатора тока, так как в этом случае в реле защиты проходит наименьший ток. При определении $k_ч$ в случае к. з. за трансформатором λ/Δ $I_{к.мин}$ определяется при двухфазном к. з., когда в фазах, имеющих трансформаторы тока, проходит ток, в 2 раза меньший, чем в третьей фазе (табл. 5-2).

д) Выдержка времени защиты с независимой характеристикой

Выдержка времени защиты с независимой характеристикой выбирается в соответствии с указаниями § 5-1,г.

е) Выдержка времени защиты с зависимой характеристикой

Общие положения

1. Расчет производится путем построения зависимости

$$t = f(I),$$

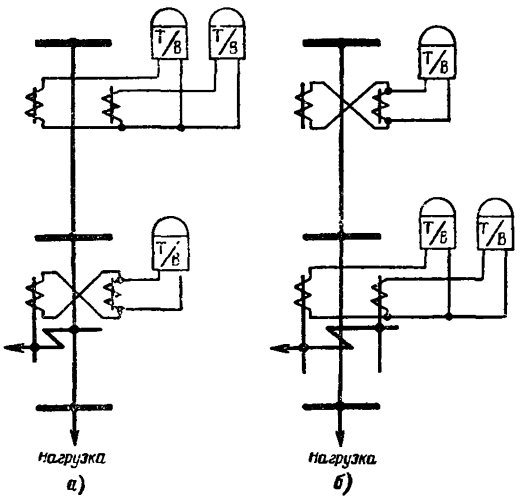


Рис. 5-3. Расчетные условия для согласования по чувствительности.

а — защита, включенная на фазные токи, расположена ближе к источнику питания; *б* — защита, включенная на фазные токи, расположена ближе к нагрузке.

где t — выдержка времени; I — первичный ток. При этом если защиты расположены на элементах разного напряжения, связанных силовыми трансформаторами, то токи приводятся к одному напряжению.

2. Для защит, включенных на фазные токи, согласование производится в условиях трехфазного к. з., а для защит, включенных на разность фазных токов,— в условиях двухфазного к. з. между фазами, имеющими трансформаторы тока, так как в этом случае в реле защиты проходит наибольший ток.

3. Согласование защит, включенных на фазные токи, с защитами, включенными на разность фазных токов, и наоборот производится в условиях двухфазного к. з. между фазами, одна из которых не имеет трансформатора тока, если защита, включенная на разность фазных токов, расположена ближе к нагрузке (рис. 5-3,*а*), и между фазами, имеющими трансформаторы тока, если защита, включенная на разность фазных токов, расположена ближе к источнику питания (рис. 5-3,*б*).

4. При согласовании характеристик защит, установленных на элементах разного напряжения, связанных силовым трансформатором, необходимо учитывать соотношение между токами с обеих сторон трансформатора при двухфазном к. з. (табл. 5-2). Согласование должно производиться в условиях, когда токи в защите с одной стороны источника питания имеют максимальное, а со стороны нагрузки — минимальное значение.

Таблица 5-2

Соотношения между токами с обеих сторон трансформатора с соединением обмоток звезда-треугольник-11

Двухфазное короткое замыкание между фазами *BC* на стороне треугольника	Двухфазное короткое замыкание между фазами *BC* на стороне звезды
Ток со стороны звезды	Ток со стороны треугольника
$I_{Азв}=I_{Взв}=\dfrac{I_{Втр}}{\sqrt{3}N_т}$	$I_{Атр}=I_{Стр}=\dfrac{I_{Взв}}{\sqrt{3}}N_т$
$I_{Сзв}=\dfrac{2I_{Втр}}{\sqrt{3}N_т}$	$I_{Втр}=\dfrac{2I_{Взв}}{\sqrt{3}}N_т$

Примечание. $N_т$ — коэффициент трансформации трансформатора; $I_{зв}$ — ток со стороны обмотки, соединенной в звезду; $I_{тр}$ — ток со стороны обмотки, соединенной в треугольник.

Пример согласования характеристик

1. Производится согласование характеристик максимальных токовых защит, установленных в сети рис. 5-4. Защиты *1* и *4* имеют независимые, а защиты *2* и *3* — зависимые характеристики.

2. Токи срабатывания определяются в соответствии с (5-7)—(5-11). Построение характеристик производится на графике рис. 5-5.

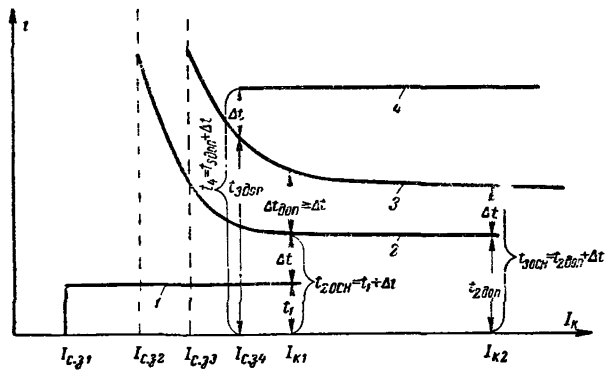


Рис. 5-5. Пример построения характеристик.

3. Для защиты *1* по условию селективности с плавкими предохранителями *П* принимается выдержка времени $t_1=t_П+\Delta t$ и строится характеристика этой защиты, изображенная прямой *1* (рис. 5-5).

4. Определяется контрольная точка характеристики защиты 2 по условию селективности с защитой *1*. Согласование производится при максимальном токе, проходящем через защиту *2* в случае к. з. на участке, за-

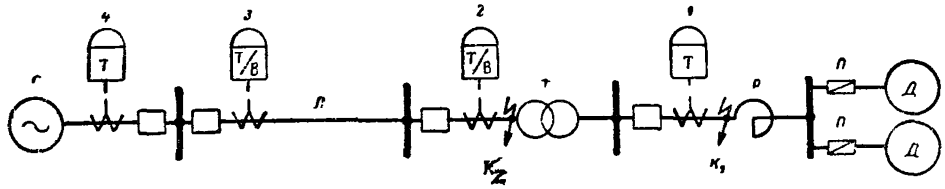


Рис. 5-4. Схема участка сети к примеру согласования характеристик.

щищаемом защитой *1*, что имеет место при к. з. до реактора *Р*, т. е. в точке K_1.

Таким образом, контрольной точкой защиты *2* является

$$t_2 = t_1 + \Delta t \text{ при токе } I_{к1}.$$

Зная $I_{с.з}$ и контрольную точку характеристики t_2, по типовым характеристикам реле ИТ-80 (РТ-80) оцениваются и наносятся на график еще несколько точек и строится вся характеристика (кривая *2* на рис. 5-5).

5. Определяется контрольная точка характеристики защиты *3* линии *Л* по условию селективности с защитой *2*. Согласование производится при максимальном токе, проходящем через защиту *3*, при к. з. на участке, защищаемом защитой *2*, что имеет место при к. з. до трансформатора *Т*, т. е. в точке K_2. Защита *2* при этом действует с выдержкой времени $t_{2доп}$. Таким образом, основной контрольной точкой характеристики защиты *3* является

$$t_{3осн} = t_{2доп} + \Delta t \text{ при токе } I_{к2}.$$

Однако в данном случае при согласовании характеристик двух зависимых защит одной контрольной точки недостаточно. Второе условие состоит в том, чтобы при к. з. за трансформатором *Т* или, что то же самое, в точке K_1 характеристика *3* не приблизилась к характеристике *2* менее чем на Δt. Для этого необходимо, чтобы ступень селективности $\Delta t_{доп}$ между характеристиками *2* и *3* при токе $I_{к1}$ была не менее Δt, т. е. $\Delta t_{доп} \geqslant \Delta t$.

Зная $I_{с.з}$ и контрольные точки характеристики при токах $I_{к1}$ и $I_{к2}$, аналогично по типовым характеристикам оцениваются и наносятся на график еще несколько точек и строится характеристика (кривая *3* на рис. 5-5).

6. Определяется выдержка времени защиты *4* генератора *Г* по условию селективности с защитой *3*. Согласование производится при токе, при котором защита *3* имеет наибольшую выдержку времени. Таким током является ток срабатывания защиты *4* $I_{с.з4}$.

Таким образом, выдержка времени защиты *4* составит:

$$t_4 = t_{3доп} + \Delta t \text{ при токе } I_{с.з4}.$$

5-3. МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

а) Ток срабатывания

Ток срабатывания выбирается по (5-1), где коэффициент надежности принимается равным:

$k_н = 1{,}05$ — для защит генераторов и трансформаторов, действующих на сигнал;

$k_н = 1{,}1 - 1{,}2$ — для защиты генераторов и трансформаторов, действующих на разгрузку или на отключение;

$k_н = 1{,}2$ — для защиты электродвигателей, действующей на сигнал, разгрузку или отключение.

б) Выдержка времени

Для генераторов и трансформаторов

$$t_{з.пер} = t_{з.к.з} + \Delta t, \qquad (5\text{-}14)$$

где $t_{з.пер}$ — выдержка времени защиты от перегрузки;

$t_{з.к.з}$ — выдержка времени максимальной токовой защиты от коротких замыканий;

Δt — ступень селективности 0,5—1 *сек*.

Для электродвигателей

$$t_{з.пер} = 15 - 30 \text{ сек}. \qquad (5\text{-}15)$$

5-4. ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ

а) Ток срабатывания

Для линий и трансформаторов

$$I_{ср} = k_н k_{сх} \frac{I_{к.макс}}{n_т}, \qquad (5\text{-}16)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности (табл. 5-3).

Ток $I_{к.макс}$ в (5-16) принимается равным наибольшему значению начального тока к. з. (периодической составляющей) в максимальном режиме системы (раздел 1).

При включении защиты на фазные токи определяющим является, как правило, трехфазное к. з. В сети с большим током замыкания на землю должны быть также расчитаны токи при однофазном к. з., которые могут оказаться больше токов трехфазного к. з.

Ток срабатывания отсечки одиночной линии с односторонним питанием отстраивается от $I_{к.макс}$ при к. з. на шинах приемной подстанции.

Ток срабатывания отсечки одиночной линии с односторонним питанием, к которой на приемной подстанции подключен только один трансформатор, отстраивается от $I_{к.макс}$ при к. з. за трансформатором (на шинах среднего или низшего напряжения).

Ток срабатывания отсечки линий с двусторонним питанием определяется по двум условиям:

1) по условию отстройки от $I_{к.макс}$ при к. з. на шинах подстанций с обеих сторон защищаемой линии; для этого в (5-16) подставляется большее из двух значений $I_{к.макс}$;

2) по условию отстройки от максимального тока при качаниях, вызванных нарушением устойчивости при несинхронном включении.

Ток срабатывания определяется по выражению

$$I_{ср} = k_н k_{сх} \frac{I_{кач.макс}}{n_т}, \qquad (5\text{-}17)$$

где $I_{кач.макс}$ — максимальный ток при качаниях, определяемый согласно разделу 2.

Ток срабатывания принимается равным большему из полученных значений.

Для электродвигателей

$$I_{ср} = k_н k_{сх} \frac{I_{пуск}}{n_т}, \qquad (5\text{-}18)$$

где $I_{пуск}$ — пусковой ток электродвигателя при неподвижном роторе и выведенном пусковом реостате в его цепи.

б) Коэффициенты надежности

Коэффициенты надежности $k_н$ в (5-16)—(5-18) принимаются в соответствии с табл. 5-3.

Таблица 5-3

Коэффициенты надежности $k_н$ для определения токов срабатывания отсечки

Выполнение отсечки	Место установки отсечки			
	Линия	Трансформатор	Генератор	Электродвигатель
Токовая отсечка без выдержки времени с реле типа ЭТ-521, действующим через промежуточное реле	1,2—1,3	1,3—1,4	1,3—1,4	1,4—1,5
Токовая отсечка без выдержки времени с реле ИТ-80, РТ-80	1,4—1,5	1,5—1,6	1,6—1,8	1,8—2,0
Токовая отсечка с выдержкой времени с реле ЭТ-521, действующим через реле времени	1,1—1,2	1,2—1,3	1,2—1,3	—

в) Чувствительность отсечки

Чувствительность отсечки характеризуется коэффициентом чувствительности и зоной действия.

Коэффициент чувствительности определяется по выражению

$$k_ч = \frac{I_{к.мин}}{I_{ср} n_т}, \qquad (5\text{-}19)$$

где $I_{к.мин}$ — ток, проходящий через защиту при двухфазном к. з. вблизи места установки защиты в минимальном режиме системы при $t = 0$.

Коэффициент чувствительности должен быть порядка 2.

Зона действия отсечки определяется графически (рис. 5-6) или по выражению

$$x_{*отс} = \frac{1}{x_л}\left(\frac{U_с}{I_{с.з}} - x_с\right), \qquad (5\text{-}20)$$

где $x_{*отс}$ — длина зоны отсечки, выраженная в долях реактивного сопротивления защищаемой линии;

$x_л$ — реактивное сопротивление защищаемой линии;

$x_с$ — реактивное сопротивление системы, приведенное к шинам, от которых отходит защищаемая линия;

$U_с$ — фазное напряжение системы, приведенное к шинам, от которых отходит защищаемая линия;

$I_{с.з}$ — первичный ток срабатывания отсечки.

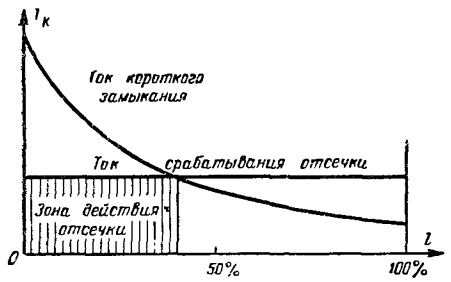


Рис. 5-6. Определение зоны действия отсечки графическим построением.

5-5. ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ОБРАТНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ГЕНЕРАТОРОВ И БЛОКОВ ГЕНЕРАТОР — ТРАНСФОРМАТОР

Ток срабатывания реле защиты, действующего на сигнал, выбирается по условию отстройки от тока небаланса фильтра тока обратной последовательности при максимально возможном токе перегрузки защищаемого генератора:

$$I_{с.з\,(2)} = 0{,}1 I_{ном}. \qquad (5\text{-}21)$$

Ток срабатывания реле защиты, действующего на сигнал, выбирается по условию отстройки от тока неусловий:

1. Предотвращение повреждения ротора генератора из-за перегрева при прохождении токов обратной последовательности.

Зависимость допустимого времени работы генератора $t_{доп}$ при наличии тока обратной последовательности от его величины определяется выражением

$$I_{*2}^2 t_{доп} = A, \qquad (5\text{-}22)$$

где I_{*2} — кратность тока обратной последовательности по отношению к номинальному току генератора;

A — постоянная величина для генераторов данного типа: для турбогенераторов, не имеющих форсированного охлаждения, $A = 30$, для гидрогенераторов $A = 40$, для турбогенераторов с форсированным охлаждением $A = 8 - 15$.

Из (5-22)

$$I_{*2} = \sqrt{\frac{A}{t_{доп}}}. \qquad (5\text{-}23)$$

Принимая $t_{доп} = 2$ *мин*, получим:

для турбогенераторов, не имеющих форсированного охлаждения,

$$I_{с.з(2)} \leqslant 0{,}5 I_{ном}; \qquad (5\text{-}24)$$

для турбогенераторов, имеющих форсированное охлаждение,

$$I_{с.з(2)} \leqslant 0{,}25 I_{ном}; \qquad (5\text{-}25)$$

для гидрогенераторов

$$I_{с.з(2)} \leqslant 0{,}6 I_{ном}. \qquad (5\text{-}26)$$

2. Отстройка от токов обратной последовательности, проходящих при разрыве фазы линий, с которыми связана станция.

При этом ток срабатывания подсчитывается по-разному для случая разрыва фазы в сети с большим током и в сети с малым током замыкания на землю.

а) Для сети с большим током замыкания на землю это условие сводится к согласованию по чувствительности токовой защиты обратной последовательности с токовой защитой нулевой последовательности, установленной на линии,

$$I_{с.з(2)} \geqslant k_н \frac{I_{с.з(0)}}{3k_{2р}} \frac{z_{0сум}}{z_{2сум}}, \qquad (5\text{-}27)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1;

$k_{2р}$ — коэффициент разветвления токов в схеме замещения обратной последовательности для генератора или блока, на котором установлена рассматриваемая защита обратной последовательности;

$I_{с.з(0)}$ — ток срабатывания защиты нулевой последовательности, с которой производится согласование;

$I_{с.з(2)}$ — ток срабатывания защиты обратной последовательности;

$z_{0сум}z_{2сум}$ — результирующие сопротивления соответственно нулевой и обратной последовательностей по отношению к месту разрыва.

Расчетные условия при расчете $I_{с.з}$ по (5-27) выбираются на основании следующих соображений.

Место разрыва принимается на одной из линий, смежных с рассматриваемой станцией.

Для схемы нулевой последовательности следует принимать минимальный режим всех элементов.

Для обходных связей и элементов, параллельных генератору или блоку с рассматриваемой защитой следует принимать большее расчетное значение сопротивления обратной последовательности.

Для системы, примыкающей к рассматриваемой линии с противоположного конца, следует принимать меньшее значение сопротивления обратной последовательности.

б) Для сети с малым током замыкания на землю ток срабатывания защиты отстраивается от токов, проходящих при разрыве фазы линии, по выражению

$$I_{с.з(2)} \geqslant \frac{k_н I_{н.макс}}{\left(1 + \frac{z_{2сум}}{z_{0сум}} + \frac{z_{2сум}}{z_{1сум}}\right) k_{2р}}, \qquad (5\text{-}28)$$

где $I_{н.макс}$ — максимальный ток нагрузки элемента, на котором возник разрыв;

$z_{1сум}$, $z_{2сум}$ — результирующие сопротивления схемы замещения прямой последовательности по отношению к месту разрыва.

$z_{0сум}$ — результирующее сопротивление нулевой последовательности линии и обходных связей по отношению к месту разрыва; при отсутствии обходных связей $z_{0сум} = \infty$.

При выборе расчетных условий для определения $I_{с.з}$ по (5-28) необходимо исходить из следующего.

Для схемы прямой последовательности следует принимать расчетный минимальный режим для всех элементов.

Для обходных связей следует принимать расчетное большее значение сопротивления обратной последовательности. При этом следует учитывать только такие отключения параллельных связей, которые не связаны со снижением тока нагрузки на линии, на которой рассматривается разрыв.

Для системы, примыкающей к рассматриваемой линии с противоположного конца, следует принимать меньшее расчетное сопротивление обратной последовательности.

3. Отстройка от небаланса фильтра обратной последовательности при максимальном возможном токе перегрузки защищаемого генератора производится по (5-21).

4. Согласование по чувствительности с защитами, установленными на элементах, смежных с защищаемым.

а) Согласование с резервной максимальной токовой защитой, выполненной с реле, включенными на фазные токи, производится согласно выражению

$$I_{с.з(2)} = \frac{k_н}{k_{2р}} \frac{I_{с.з}}{\sqrt{3}}. \qquad (5\text{-}29)$$

При этом выбор расчетного режима производится с учетом следующих соображений:

Связи, параллельные линии с рассматриваемой максимальной токовой защитой, следует считать включенными.

Элементы, параллельные генератору или блоку с рассматриваемой защитой обратной последовательности, следует считать отключенными.

б) Согласование с токовой защитой нулевой последовательности, установленной на линии в сетях с большим током замыкания на землю, производится согласно выражению

$$I_{с.з\,(2)} = \frac{k_н}{k_{2р}} \alpha \frac{I_{с.з(0)}}{3}, \qquad (5\text{-}30)$$

где $\alpha = \frac{I_2}{I_0}$ — отношение токов обратной и нулевой последовательностей, проходящих по линии, на которой установлена рассматриваемая защита нулевой последовательности.

За расчетное следует принимать короткое замыкание в конце зоны действия рассматриваемой защиты нулевой последовательности.

Расчетным является однофазное короткое замыкание, если $z_{2\,сум} > z_{0\,сум}$.

Расчетным является двухфазное короткое замыкание на землю, если $z_{2\,сум} < z_{0\,сум}$.

в) Для согласования токовой защиты обратной последовательности с дистанционной защитой определяется максимальный ток обратной последовательности при замыканиях между фазами на границе зоны, охватываемой по уставке реле сопротивления,

$$I_{с.з(2)} = \frac{k_н}{k_{2р}} I_{2расч}, \qquad (5\text{-}31)$$

где $I_{2расч}$ — ток обратной последовательности, определенный при к. з. на границе зоны действия дистанционной защиты.

В тех случаях, когда ток срабатывания токовой защиты обратной последовательности, выбранный по условию согласования с защитами соседних элементов, оказывается чрезмерно большим и противоречащим условию 1, следует рассмотреть вопрос о снижении требования к условиям согласования защит по чувствительности.

5. Чувствительность токовой защиты обратной последовательности проверяется при к. з. за повышающим трансформатором. Ток короткого замыкания для определения чувствительности подсчитывается для двухфазного и однофазного к. з. на землю, коэффициент чувствительности должен быть: $k_ч \geqslant 1{,}2$.

5-6. ПОПЕРЕЧНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ

а) Ток срабатывания защиты

Ток срабатывания принимается равным наибольшему расчетному значению, полученному для следующих условий:

1. Отстройка от тока нагрузки

$$I_{ср} = \frac{k_н I_{нагр.макс}}{k_в} \frac{1}{n_т}, \quad (5\text{-}32)$$

где $I_{нагр.макс}$ — максимальный ток нагрузки при одностороннем отключении одной из защищаемых линий.

Для защиты только с токовыми пусковыми реле принимается $I_{нагр.макс}$ в условиях наиболее тяжелого, реально возможного режима работы системы.

Для защиты с пусковыми реле максимального тока и минимального напряжения принимается $I_{нагр.макс}$, соответствующий нормальному режиму работы системы или пропускной способности линии.

$k_н$ — коэффициент надежности, равный 1,1—1,25.

$k_в$ — коэффициент возврата реле ($k_в < 1$).

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

На каждом конце параллельных линий $n_т$ должны быть одинаковыми на обеих линиях.

2. *Отстройка от тока небаланса*

$$I_{ср} = k_н I_{нб.макс}, \quad (5\text{-}33)$$

где $I_{нб.макс}$ — максимально возможный ток небаланса при повреждении вне защищаемой зоны, подсчитывается согласно § 6-3,а;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,3—1,5.

Ток $I_{нб.макс}$ для комплекта защиты от междуфазных к. з. при наличии блокировки при замыканиях на землю подсчитывается при трехфазном к. з., при отсутствии такой блокировки — при том виде короткого замыкания, при котором $I_{нб}$ имеет наибольшую величину. Для комплекта защиты от замыканий на землю ток небаланса определяется при однофазном к. з. при наличии пуска от напряжения нулевой последовательности.

При отсутствии пуска от напряжения нулевой последовательности ток срабатывания необходимо также отстраивать от максимально возможного тока небаланса при трехфазном к. з. в месте установки защиты. Расчет по этому дополнительному условию выполняется по (5-33). Ток $I_{нб.макс}$ определяется согласно § 6-3,б.

3. Отстройка от тока в неповрежденной линии при каскадном отключении замыкания на землю при работе на пределе чувствительности реле тока нулевой последовательности, блокирующего междуфазный комплект, выполняемый с применением однофазных реле направления мощности, но без пусковых реле минимального напряжения,

$$I_{ср} = k_н \frac{I_{неп}}{n_т}, \quad (5\text{-}34)$$

где $I_{неп}$ — ток в неповрежденной линии после отключения поврежденной линии с противоположного конца;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1—1,25;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Ток $I_{неп}$ приближенно можно определить по выражению

$$I_{неп} \approx I_{н.макс} + \frac{1}{3} I_{ср0}, \quad (5\text{-}35)$$

где $I_{н.макс}$ — максимальный ток нагрузки при работе одной из защищаемых линий в условиях наиболее тяжелого реально возможного режима работы системы;

$I_{ср0}$ — ток срабатывания токового реле нулевой последовательности.

Для пусковых реле, включенных на ток нулевой последовательности, ток срабатывания выбирается только по второму условию. Для пусковых токовых реле защиты в сети с малым током замыкания на землю выбор уставок производится по первому и второму условиям.

б) Проверка чувствительности защиты по току

1. При минимальном значении тока короткого замыкания в точке равной чувствительности защит на обеих концах линии.

Положение на линии точки равной чувствительности определяется по выражению

$$m_ч = \frac{I_{срI}}{I_{срI} + I_{срII}}, \quad (5\text{-}36)$$

где $I_{срI}$, $I_{срII}$ — первичные токи срабатывания защит, установленных с разных сторон параллельных линий;

$m_ч$ — расстояние в долях длины линии до точки одинаковой чувствительности от места установки защиты с $I_{срII}$.

Коэффициент чувствительности равен:

$$k_ч = \frac{I_{рI}}{I_{срI}} = \frac{I_{рII}}{I_{срII}}, \quad (5\text{-}37)$$

где $I_{рI}$, $I_{рII}$ — токи, проходящие через реле *I* и *II* при к. з. в точке равной чувствительности в условиях реально возможного наиболее ослабленного режима работы сети.

Коэффициент чувствительности должен быть:

$$k_ч \geqslant 2.$$

2. При минимальном значении тока короткого замыкания в условиях наиболее ослабленного режима работы сети при каскадном отключении.

Проверка производится при к. з. на противоположном конце линии, где выключатель отключен.

Коэффициент чувствительности

$$k_ч = \frac{I'_р}{I_{ср}}, \quad (5\text{-}38)$$

где $I'_р$ — ток в реле, равный $\frac{I_р}{n_т}$;

$I_{ср}$ — ток срабатывания реле.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5.

Для комплекта защиты от замыканий на землю вследствие влияния взаимоиндукции минимальная чувствительность может оказаться при коротком замыкании не в конце линии, а в более близкой точке. При этом с целью упрощения расчет ведется при к. з. в конце линии, но допустимый коэффициент чувствительности повышается до 1,8.

При недостаточной чувствительности токового пускового органа междуфазного комплекта с целью ее повышения должны применяться пусковые реле тока и минимального напряжения.

в) Зона каскадного действия защиты по току

Зона каскадного действия определяется в долях длины линии по выражению

$$m_к = \frac{I_{ср} n_т}{I_к}, \qquad (5\text{-}39)$$

где $I_{ср}$ — ток срабатывания реле;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформатора тока;

$I_к$ — ток в месте короткого замыкания при повреждении линии на границе зоны каскадного действия.

Расчет производится в условиях реально возможного наибольшего ослабления режима работы сети. С некоторым приближением ток может определяться при коротком замыкании на шинах подстанции противоположного конца линий.

Сумма зон каскадного действия комплектов защиты от замыканий между фазами или от замыканий на землю по концам *А* и *Б* параллельных линий должна быть:

$$m_А + m_Б \leqslant 0{,}6.$$

г) Напряжение срабатывания реле понижения напряжения

Напряжение срабатывания принимается равным наименьшему расчетному значению, полученному для следующих условий:

1. Отстройка от минимального эксплуатационного напряжения:

$$U_{ср} = \frac{U_{мин}}{k_н k_в n_н}, \qquad (5\text{-}40)$$

где $U_{мин}$ — минимально возможное напряжение в месте установки реле в нормальном режиме; приближенно может приниматься равным $0{,}9U_{ном}$;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый порядка 1,15;

$k_в$ — коэффициент возврата реле ($k_в > 1$);

$n_н$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

2. Отстройка от напряжения между поврежденной и неповрежденной фазами при двухфазном к. з. на противоположном конце линии на границе зоны каскадного действия токовых реле:

$$U_{ср} \leqslant \frac{U^{(2)}_{неп}}{k_н n_н}. \qquad (5\text{-}41)$$

Расчет выполняется для режима параллельной работы линий. Режим системы минимальный.

Отстройка производится при применении в междуфазном комплекте однофазных реле направления мощности. Коэффициент надежности $k_н$ должен быть не менее 1,15.

3. Отстройка от напряжения между поврежденной и неповрежденной фазами при каскадном отключении однофазного к. з. и при работе на пределе чувствительности реле тока нулевой последовательности, блокирующего междуфазный комплект, выполненный с применением однофазных реле направления мощности:

$$U_{ср} = \frac{U^{(1)}_{неп}}{k_н n_н}. \qquad (5\text{-}42)$$

Расчет выполняется для режима параллельной работы линий. Режим системы минимальный; $k_н \geqslant 1{,}15$.

д) Коэффициент чувствительности реле понижения напряжения

$$k_ч = \frac{U_{ср}}{U_р}, \qquad (5\text{-}43)$$

где $U_{ср}$ — напряжение срабатывания;

$U_р$ — напряжение на реле.

Коэффициент чувствительности определяется при трехфазном или двухфазном к. з. после его отключения на противоположном конце линии в условиях максимального режима работы системы.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,5.

е) Напряжение срабатывания реле напряжения нулевой последовательности

Напряжение срабатывания отстраивается от максимального напряжения небаланса нулевой последовательности в условиях нормального режима.

На основании опыта эксплуатации $U_{ср}$ может приниматься порядка 5—10 *в*.

ж) Чувствительность реле напряжения нулевой последовательности

$$k_ч = \frac{U_р}{U_{ср}}, \qquad (5\text{-}44)$$

где $U_р$ — напряжение на реле;

$U_{ср}$ — напряжение срабатывания.

Напряжение $U_р$ определяется в тех же режимах, что и для оценки чувствительности комплекта от замыканий на землю, т. е. при к. з. в точке равной чувствительности в условиях каскадного действия защиты. Величины k_4 должны быть те же, что в (5-37) и (5-38).

з) Чувствительность реле направления мощности

Проверка чувствительности производится только для реле направления мощности нулевой последовательности:

$$k_ч = \frac{9U_0 I_0}{S_{0ср} n_н n_т}, \qquad (5\text{-}45)$$

где U_0 и I_0 — напряжение и ток нулевой последовательности в месте установки защиты при замыкании на землю;

$S_{0ср}$ — чувствительность реле направления мощности.

Проверка чувствительности по (5-45) должна производиться при минимальном режиме, соответствующем наименьшим величинам токов нулевой последовательности при замыканиях на землю:

1) в точке равной чувствительности комплекта от замыканий на землю; при этом $k_ч$ должен быть не менее 4;

2) на противоположном конце линии после отключения выключателя, ближайшего к месту повреждения (каскадная работа защиты); при этом $k_ч$ должен быть не менее 2,5.

5-7. ПРОДОЛЬНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ

А. ЗАЩИТА ТИПА РДЛ С ФИЛЬТРОМ I_1+kI_0

а) Ток срабатывания прямой последовательности

1. Предварительно определяется $I_{1\,уст}$ по условию отстройки от тока нагрузки при обрыве соединительных проводов по выражению

$$I_{1уст} = k_н \frac{I_{нагр.макс}}{n_т}, \qquad (5\text{-}46)$$

где $I_{нагр.макс}$ — максимально возможный ток нагрузки защищаемой линии в условиях нормального режима работы системы;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимается равным 1,1;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока (должны быть одинаковыми на обеих концах линии).

2. Выбираются величина сопротивления R_1 фильтра $I_1 + kI_0$ и отпайка h насыщающегося трансформатора:

$$h = \frac{R_1}{0{,}1} I_{1уст}. \qquad (5\text{-}47)$$

Если отпаек, соответствующих полученной величине h нет, выбирается ближайшая меньшая отпайка h.

Окончательно определяется ток срабатывания:

$$I_{1ср} = \frac{0{,}1}{R_1} h. \qquad (5\text{-}48)$$

б) Чувствительность защиты при двухфазных коротких замыканиях

$$k_ч^{(2)} = \frac{I^{(2)}_{1к.мин}}{2I_{1ср}n_т}, \qquad (5\text{-}49)$$

где $I^{(2)}_{1к.мин}$ — минимальная величина тока прямой последовательности в месте короткого замыкания при повреждении на защищаемой линии в условиях реально возможного наиболее ослабленного режима работы сети;

$I_{1ср}$ — ток срабатывания, выбранный согласно (5-48);

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Коэффициент 2 учитывает токораспределение в схеме защиты за счет связи между комплектами по соединительным проводам.

$k_ч$ должен быть не менее 1,5—2.

в) Коэффициент k фильтра I_1+kI_0

1. Предварительно выбирается k фильтра по максимальному отношению тока прямой последовательности к току нулевой последовательности на любом из концов линии при двухфазном замыкании на землю на защищаемой линии:

$$k = k_н \frac{I^{(1,1)}_{1ЛЭП}}{I^{(1,1)}_{0ЛЭП}}, \qquad (5\text{-}50)$$

где $I^{(1,1)}_{1ЛЭП}$, $I^{(1,1)}_{0ЛЭП}$ — токи прямой и нулевой последовательностей в линии при наибольшем отношении I_1 и I_0 в условиях двустороннего питания линии;

$k_н$ — коэффициент надежности, равный 2.

Для выбора наибольшего отношения тока I_1 к току I_0 должны выполняться расчеты токов $I^{(1,1)}$ при к. з. на каждом из концов защищаемой линии для нескольких режимов.

2. Определяется величина сопротивления R_0 фильтра $I_1 + kI_0$:

$$R_0 = \frac{R_1}{3}(2k - 1), \qquad (5\text{-}51)$$

где R_1 — сопротивление фильтра, выбранное согласно п. „а", 2;

k — коэффициент фильтра, выбранный согласно (5-50).

Если полученная величина R_0 не соответствует отпайкам сопротивления R_0, то выбирается ближайшая отпайка с большей величиной R_0.

3. Окончательно определяется коэффициент фильтра:

$$k = \frac{R_1 + 3R_0}{2R_1}. \qquad (5\text{-}52)$$

г) Чувствительность защиты при замыканиях на землю

При двухфазном замыкании на землю

$$k_ч^{(1,1)} = \frac{kI_0^{(1,1)} - I_1^{(1,1)}}{2I_{1ср}n_т}. \qquad (5\text{-}53а)$$

При однофазном замыкании на землю

$$k_ч^{(1)} = \frac{I_0^{(1)}\sqrt{k^2 + k + 1}}{2I_{1ср}n_т}, \qquad (5\text{-}53б)$$

где $I_1^{(1)}$, $I_0^{(1)}$ — токи прямой и нулевой последовательностей в месте короткого замыкания при повреждении на противоположном конце защищаемой ЛЭП, где выключатель отключен (режим неуспешного АПВ);

$I_{1ср}$ — ток срабатывания защиты согласно (5-48);

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Коэффициент 2 в знаменателе учитывает растекание тока по комплектам защиты через соединительные провода.

Чувствительность проверяется в наиболее ослабленном реально возможном режиме работы сети. $k_ч$ должен быть не менее 2.

Б. ЗАЩИТА ТИПА ДЗЛ С ФИЛЬТРОМ $I_1—kI_2$

а) Коэффициент k фильтра I_1+kI_2

Выбор k фильтра должен производиться, исходя из необходимости создать преобладание составляющей kI_2 над составляющей I_1, обеспечивающее надежное действие защиты при любых несимметричных коротких замыканиях на защищаемой линии. Наиболее неблагоприятное взаимодействие составляющих прямой и обратной последовательностей в фильтре получается при однофазном коротком замыкании на фазе B, когда составляющие I_1 и kI_2 находятся в противофазе, так как коэффициент k в защите ДЗЛ отрицательный. Однако при двухфазных замыканиях на землю ток I_1 значительно превышает по величине ток I_2. Поэтому определение величины k фильтра производится по максимальному отношению тока I_1 к току I_2 на любом из концов линии при двухфазном замыкании на землю в зоне защиты:

$$k = -k_н \frac{I_1^{(1,1)}}{I_2^{(1,1)}}, \qquad (5\text{-}54)$$

где $I_1^{(1,1)}$, $I_2^{(1,1)}$ — токи прямой и обратной последовательностей в линии при наибольшем отношении I_1 к I_2 в условиях двустороннего питания;

$k_н$ — коэффициент надежности, равный 2.

Для выбора наибольшего отношения тока I_1 к току I_2 должны быть выполнены расчеты токов $I^{(1,1)}$ при к. з. на каждом из концов защищаемой линии для нескольких режимов.

Коэффициент k не должен быть больше —4.

Рекомендуется принимать ближайшее меньшее целое число. Например, если по расчету получился k= =—4,3, следует принять k=—5. Коэффициент k устанавливается одинаковым на обеих концах линии.

б) Выбор отпайки h

1. По минимальному значению тока трехфазного к. з. на защищаемой линии

$$h = -\frac{I_{мин}^{(3)}}{kI_{2ср}k_ч n_т}, \qquad (5\text{-}55)$$

где $I_{мин}^{(3)}$ — минимальный ток трехфазного к. з. в конце защищаемой линии при одностороннем питании (режим неуспешного АПВ) в условиях наиболее ослабленного реально возможного режима работы сети;

k — коэффициент фильтра, выбранный по (5-54);

$I_{2ср}$ — ток срабатывания реле при $h=1$ при одностороннем питании защиты током обратной последовательности и при выбранном значении k фильтра;

$k_ч$ — коэффициент чувствительности, равный 2;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока; $n_т$ должны быть одинаковыми на обеих концах линии.

2. По минимальной величине тока однофазного к. з.

$$h = \frac{I_{мин}^{(1)}}{I_{ср\,B\text{-}0}k_ч n_т}, \qquad (5\text{-}56)$$

где $I_{мин}^{(1)}$ — минимальный ток однофазного к. з. защищаемой линии в тех же условиях, что и $I_{мин}^{(3)}$ в (5-55);

$I_{ср\,B\text{-}0}$ — ток срабатывания реле при однофазном к. з.; B-0 при $h=1$ при одностороннем питании защиты;

$k_ч$ — коэффициент чувствительности, равный 2;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Принимается меньшая из полученных по (5-55) и (5-56) величина h. Если она не соответствует имеющимся в защите отпайкам, то из них выбирается ближайшая меньшая. Отпайки должны быть одинаковыми на обоих концах линии.

При этом максимальная величина вторичного тока короткого замыкания не должна превышать следующих значений:

Отпайка h	1	1,5	2
$I_{к.з.макс}$	100	150	200

в) Проверка чувствительности при двухфазном коротком замыкании

$$k_ч^{(2)} = \frac{I_{мин}^{(2)}}{hI_{ср}n_т}, \qquad (5\text{-}57)$$

где $I_{мин}^{(2)}$ — минимальный ток двухфазного к. з. в конце защищаемой линии в тех же условиях, что и $I_{мин}$ в (5-55);

$I_{2ср\,A\text{-}B}$ — ток срабатывания реле при одностороннем питании защиты током по фазам A-B при $h=1$ и выбранном значении k фильтра;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Коэффициент чувствительности $k_ч$ должен быть не менее 2.

г) Ток срабатывания максимального токового реле нулевой последовательности, обеспечивающего отстройку от многократной работы разрядников

$$I_{ср} = \frac{3I_{0мин}^{(1,1)}}{k_ч n_т}, \qquad (5\text{-}58)$$

где $I_{0мин}^{(1,1)}$ — минимальная величина тока нулевой последовательности на данном конце линии при двухфазном замыкании на землю на противоположном конце в условиях наибольшего реально возможного ослабления режима работы сети;

$k_ч$ — коэффициент чувствительности, равный 2;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

5-8. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ (АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ)

А. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ОТСЕЧКА ДВУХОБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

а) Выравнивание токов в плечах защиты

Коэффициент трансформации $n_{АТ}$ выравнивающего автотрансформатора определяется по отношению номинальных вторичных токов в плечах защиты при положении переключателя ответвлений силового трансформатора, соответствующем номинальному напряжению:

$$n_{АТ}=\frac{I'_{ном}\frac{k'_{сх}}{n'_т}}{I''_{ном}\frac{k''_{сх}}{n''_т}}, \qquad (5\text{-}59)$$

где $I'_{ном}$, $I''_{ном}$ — номинальные токи обмоток трансформатора;

$k'_{сх}$, $k''_{сх}$ — коэффициенты схем для соответствующих $I'_{ном}$ и $I''_{ном}$ комплектов трансформаторов тока; при соединении трансформаторов тока в треугольник $k_{сх}=\sqrt{3}$, при соединении в звезду $k_{сх}=1$;

$n'_т$, $n''_т$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока в цепях обмоток трансформатора соответственно с $I'_{ном}$ и $I''_{ном}$.

Выражение (5-59) соответствует включению автотрансформатора во вторичные цепи трансформаторов тока, установленных со стороны обмотки с $I'_{ном}$.

При $n_{АТ}>1$ автотрансформатор понижает вторичный ток, приходящий от трансформаторов тока, а при $n_{АТ}<1$ — повышает.

б) Ток срабатывания

$$I_{ср}=k_н k_{сх}\frac{I_{ном}}{n_т n_{АТ}}, \qquad (5\text{-}60)$$

где $I_{ном}$ — номинальный ток трансформатора;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$n_{АТ}$ — коэффициент трансформации выравнивающего автотрансформатора, выбранный согласно (5-59); при отсутствии автотрансформатора принимают $n_{АТ}=1$;

$k_н$ — коэффициент надежности; принимается равным 3—4 по условию отстройки от бросков тока намагничивания при включении трансформатора.

в) Проверка отстройки от тока небаланса

$$k_н=\frac{I_{ср}}{I_{нб}}, \qquad (5\text{-}61)$$

где $I_{ср}$ — ток срабатывания, выбранный по (5-60);

$I_{нб}$ — максимальный ток небаланса при к. з. вне зоны защиты.

Ток небаланса определяется согласно § 6-3,а как разность вторичных токов при наибольшей разбалансировке дифференциальной защиты при регулировании напряжения переключением ответвлений трансформатора. Если токи в плечах дифференциальной защиты различны по величине и не применяются выравнивающие автотрансформаторы, то расчет должен производиться при условии регулирования напряжения, приводящего к возрастанию этой разности токов.

При использовании упрощенных способов определения $I_{нб}$, приведенных в § 6-3,а, следует дополнительно учесть возможность его возрастания за счет разбалансировки защиты. Тогда ток небаланса должен подсчитываться по выражению

$$I_{нб}=I_{нб.т.т}+I_{нб.доп}, \qquad (5\text{-}62)$$

где $I_{нб.т.т}$ — составляющая тока небаланса, обусловленная погрешностями трансформаторов тока, подсчитанная упрощенным способом[1];

$I_{нб.доп}$ — составляющая $I_{нб}$, вызванная разбалансировкой защиты.

Ток $I_{нб.доп}$ определяется по выражению

$$I_{нб.доп}=I'_{к.з}\frac{k'_{сх}}{n'_т}-I''_{к.з}\frac{k''_{сх}}{n''_т}, \qquad (5\text{-}63)$$

где $I'_{к.з}$, $I''_{к.з}$ — токи в обмотках защищаемого трансформатора при внешнем к. з., при котором рассчитывается ток $I_{нб}$ по (5-62), и при таком крайнем положении анцапф, при котором разность токов в плечах больше.

Коэффициент $k_н$, подсчитанный по (5-61), должен быть не менее 1,3. Если он окажется меньше, то необходимо соответственно увеличить выбранный ток срабатывания.

г) Чувствительность защиты

$$k_ч=\frac{I_{к.мин}}{n_т I_{ср}}k_{сх}n_{АТ}, \qquad (5\text{-}64)$$

где $I_{к.мин}$ — минимальный ток в месте короткого замыкания на выводах трансформатора в условиях наибольшего реально возможного ослабления питания;

$I_{ср}$ — ток срабатывания реле.

При отсутствии автотрансформатора $n_{АТ}=1$.

$k_ч$ должен быть не менее 2. При меньшей величине $k_ч$ необходимо проверить возможность повышения чувствительности дифференциальной отсечки и получения допустимого $k_ч$ путем выравнивания токов в плечах защиты, если таковое не предусмотрено и определяющим условием при выборе $I_{ср}$ являлась отстройка от тока небаланса при внешнем коротком замыкании. При невозможности достижения допустимой величины $k_ч$ вместо дифференциальной отсечки должна быть применена защита с насыщающимися трансформаторами.

Б. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА НА РЕЛЕ С НАСЫЩАЮЩИМСЯ ТРАНСФОРМАТОРОМ (РЕЛЕ РНТ-562, ЭТ-561 С ВТН-561)

а) Вторичные номинальные токи в плечах защиты

Для каждого плеча подсчитывается вторичный номинальный ток $I_{2ном}$:

$$I_{2ном}=I_{ном}\frac{k_{сх}}{n_т}, \qquad (5\text{-}65)$$

[1] При применении (6-31) или (6-32) $I_{нб.т.т}$ подсчитывается для того плеча защиты, по которому проходит больший ток.

где $I_{ном}$ — номинальный ток обмотки трансформатора, в цепи которой включены трансформаторы тока данного плеча при среднем положении анцапф. $I_{ном}$ в (5-65) определяется по номинальной мощности наиболее мощной из обмоток трансформатора.

б) Ток срабатывания

Определяется ток срабатывания, приведенный к плечу с наибольшим номинальным вторичным током (основное плечо), подсчитанным согласно (5-65) по двум условиям:

1. Отстройка от бросков намагничивающего тока при включении трансформатора

$$I_{ср.осн} = k_н I_{ном.осн}, \qquad (5\text{-}66)$$

где $I_{ном.осн}$ — номинальный ток того плеча, для которого он получился наибольшим при подсчете по (5-65);

$k_н$ — коэффициент надежности, принимается порядка 1—1,3.

Для реле типа РНТ-562 могут приниматься меньшие значения $k_н$, поскольку эффективность отстройки от бросков намагничивающего тока может быть повышена путем переключения отпаек короткозамкнутых обмоток.

При этом число короткозамкнутых витков должно устанавливаться одинаковым на обеих обмотках во избежание изменения чувствительности реле. При одинаковом увеличении числа витков в обеих короткозамкнутых обмотках понижается чувствительность только к апериодической составляющей тока, а чувствительность к синусоидальному току сохраняется неизменной. Таким образом, при увеличении числа витков повышается эффективность отстройки от бросков намагничивающего тока. Однако при этом увеличивается время действия реле при повреждении в зоне защиты (при наличии апериодической составляющей в токе короткого замыкания). При максимальном числе витков (отпайки *Г-Г*) время действия реле может возрасти до 0,16—0,2 *сек*. Поэтому, если повышение времени действия защиты недопустимо (например, по условиям устойчивости), при выборе уставок необходимо останавливаться на минимальном числе витков (отпайки *А-А*) и принимать более высокий $k_н$ в (5-66). Когда возрастание времени действия защиты до указанных выше значений не лимитируется, можно принимать меньшую величину $k_н$, обеспечивая отстройку от бросков тока намагничивания экспериментальным подбором отпаек короткозамкнутых витков при наладке защиты.

2. Отстройка от токов небаланса

$$I_{ср.осн} = k_н I_{нб.прив}, \qquad (5\text{-}67)$$

где $I_{нб.прив}$ — ток небаланса, приведенный к плечу с наибольшим $I_{ном}$;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимается равным 1,3.

Ток небаланса подсчитывается по (6-30) с предварительным приведением тока $I_{2п}$ каждого плеча защиты, рассчитанного при условии работы трансформатора на одной из крайних анцапф, к основному плечу с наибольшим $I_{ном}$:

$$I_{2п.прив} = I_{2п} \frac{I_{ном.осн}}{I_{номI(II)}}, \qquad (5\text{-}68)$$

где $I_{номI(II)}$ — вторичные номинальные токи других плеч, условно обозначенных I и II.

Допускается применение упрощенных способов расчета тока небаланса ($I_{нб.т.т}$), приведенных в § 6-3,а. При этом $I_{нб}$ подсчитывается в соответствии (5-62) и (5-63) с предварительным приведением $I_{нб.т.т}$ и токов в плечах *I* и *II* к основному плечу аналогично приведению токов $I_{2н}$ по (5-68).

Принимается большее значение $I_{ср.осн}$ из полученных по первому и второму условию.

в) Расчет отпаек насыщающегося трансформатора реле

Выполняется, исходя из необходимости обеспечить равенство намагничивающих сил (н. с.) обмоток реле в каждом плече защиты.

Для выравнивания вторичных токов в плечах защиты используются уравнительные обмотки (соединенные последовательно с дифференциальной), к которым подключаются плечи с наименьшими номинальными вторичными токами. Плечо с бо́льшим вторичным номинальным током подключается к дифференциальной обмотке. Если количество уравнительных обмоток соответствует числу плеч (например, при установке реле РНТ-562 на двухобмоточном трансформаторе), они оба подключаются к уравнительным обмоткам. Количество витков подсчитывается по выражениям:

1) для основного плеча

$$w_{осн} = \frac{F_{ср}}{I_{ср.осн}}, \qquad (5\text{-}69)$$

где $F_{ср}$ — н. с. срабатывания реле.

При отсутствии у насыщающегося трансформатора отпайки с числом витков, полученным по (5-69), выбирается ближайшая отпайка с меньшим числом витков.

2. Для каждого другого плеча

$$w_{I(II)расч} = w_{осн} \frac{I_{ном.осн}}{I_{ном\,I(II)}}. \qquad (5\text{-}70)$$

При несоответствии отпаек трансформатора полученным числам $w_{Iрасч}$ и $w_{II\,расч}$ выбираются ближайшие отпайки $w_{I(II)}$ с меньшим или большим числом витков. При этом если основное плечо подключается к дифференциальной обмотке, а остальные плечи к уравнительным обмоткам, то

$$w_{дифф} = w_{осн} \qquad (5\text{-}71)$$

и

$$w_{урI(II)} = w_{I(II)} - w_{диф}.$$

г) Уточнение расчетных величин

Производится в связи с возрастанием тока небаланса из-за неточности подбора отпаек насыщающегося трансформатора.

1. Повторно расчитываются величины $I_{нб.прив}$ с предварительным уточнением приведенных токов $I_{2п}$ в каждом плече защиты по выражению

$$I_{2п.прив} = I_{2п} \frac{w_{I(II)}}{w_{осн}}. \qquad (5\text{-}72)$$

При расчете небаланса упрощенным способом пользуются (5-62), считая

$$I_{нб.т.т} = I_{нб.расч} \frac{w_{I(II)}}{w_{осн}}, \qquad (5\text{-}73)$$

и определяя $I_{нб.доп}$ по выражению:

$$I_{нб.доп} = I_I \frac{w_{I расч} - w_I}{w_{осн}} + I_{II} \frac{w_{II расч} - w_{II}}{w_{осн}}, \quad (5\text{-}74)$$

где $I_{2п}$, I_I, I_{II} — токи в плечах защиты при том крайнем положении переключателя ответвлений трансформатора, при котором разбалансировка защиты из-за неточного подбора витков насыщающегося трансформатора приводит к большему увеличению тока небаланса;

$I_{нб.расч}$ — ток небаланса, рассчитанный упрощенным способом.

2. Уточняется ток срабатывания по (5-67). Если его величина оказывается выше принятой ранее, то переходят на основную отпайку с меньшим числом витков и уточняют $I_{ср.осн}$ и число витков в других плечах, пользуясь (5-69)—(5-70).

д) Чувствительность защиты

$$k_ч = \frac{I_{осн} w_{осн} + I_I w_I + I_{II} w_{II}}{F_{ср}}, \quad (5\text{-}75)$$

где $I_{осн}$, I_I и I_{II} — вторичные токи в плечах защиты при минимальной величине тока короткого замыкания на выводах трансформатора в условиях наибольшего реально возможного ослабления питания;

$F_{ср}$ — н. с. срабатывания реле.

Коэффициент чувствительности $k_ч$ должен быть не менее 2. В режиме опробования трансформатора напряжением допускается $k_ч = 1{,}5$. При величине $k_ч$ меньше допустимой следует применить дифференциальные реле с тормозным действием.

В. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА НА РЕЛЕ С ТОРМОЗНЫМ ДЕЙСТВИЕМ ТИПА ДЗТ

а) Расчет числа витков основных и дополнительных рабочих обмоток насыщающегося трансформатора реле

1. Определяются вторичные номинальные токи в плечах защиты согласно (5-65).

2. Определяется ток срабатывания без учета торможения по (5-66), принимая $k_н = 1{,}2—1{,}5$.

3. Производится расчет отпаек основных и дополнительных обмоток насыщающегося трансформатора для каждого плеча защиты аналогично приведенному в п. Б,«б» для реле с БНТ, пользуясь (5-69)—(5-70).

б) Расчет коэффициента торможения

1. Определяется максимальный ток небаланса $I_{нб\,прив}$ согласно п. Б,«б»,2, но с уточнениями по п. Б,«г»,1 при максимальной величине тока короткого замыкания вне зоны защиты. Ток небаланса вычисляется при к. з. на каждой из сторон трансформатора.

2. Определяются суммарный тормозной и рабочий токи в реле для каждого из рассматриваемых внешних коротких замыканий.

Тормозной ток

$$I_{торм.осн} = \frac{I_к}{n_т} k_{сх}, \quad (5\text{-}76)$$

где $I_к$ — ток короткого замыкания в обмотке трансформатора, ближайшей к месту повреждения;

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$k_{сх}$ — коэффициент схемы ($\sqrt{3}$ или 1 в зависимости от схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока).

Определение суммарного тормозного тока производится по выражению

$$\Sigma I_{торм} = I_{1торм} + I_{2торм} + \ldots,$$

где $I_{1торм}$, $I_{2торм}$ — токи в тормозных обмотках реле.

Рабочий ток

$$I_{раб} = k_н I_{нб.прив}, \quad (5\text{-}77)$$

где $k_н$ принимается равным 1,5.

3. Определяется коэффициент торможения, необходимый при каждом из рассматриваемых к. з.,

$$k_т = \frac{I_{раб}}{\Sigma I_{торм}}. \quad (5\text{-}78)$$

Принимается наибольший $k_т$ из подсчитанных для повреждений с разных сторон трансформатора.

в) Расчет числа витков тормозных обмоток

1. Намагничивающая сила рабочей обмотки при срабатывании реле

$$F_{ср} = I_{раб} w_{раб}, \quad (5\text{-}79)$$

где $I_{раб}$ — рабочий ток, соответствующий принятому $k_т$;

$w_{раб}$ — число витков рабочих обмоток основного плеча.

2. По характеристике $F_{ср} = f(F_{торм})$, выражающей зависимость н. с. срабатывания реле от изменения н. с. торможения, находят $F_{торм}$ по величине $F_{ср}$, полученной по (5-79).

Характеристики $F_{ср} = f(F_{торм})$ даются в заводских каталогах. На рис. 5-7 приведены характеристики для некоторых типов реле.

3. Для реле с тремя и более тормозными обмотками число витков тормозной обмотки

$$w_{торм} = \frac{F_{торм}}{\Sigma I_{торм}}. \quad (5\text{-}80а)$$

Для реле с одной тормозной обмоткой, применяемых для двухобмоточных трансформаторов (реле типа ДЗТ-1),

$$w_{торм} = \frac{F_{торм}}{I_{торм}}. \quad (5\text{-}80б)$$

Здесь $\Sigma I_{торм}$ или $I_{торм}$ соответствует принятому $K_т$.

$w_{торм}$ принимается одинаковым для всех тормозных обмоток реле.

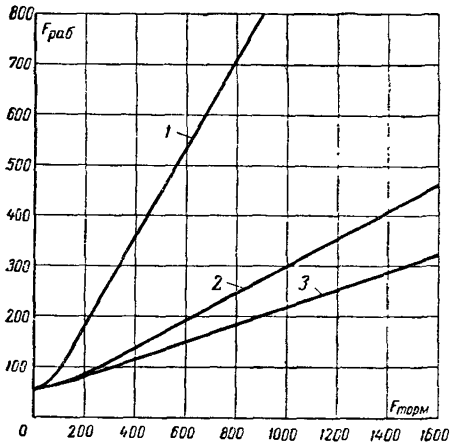


Рис. 5-7. Характеристики $F_{ср}=f(F_{торм})$ дифференциальных реле типа ДЗТ, соответствующие минимальному торможению.

1—реле типа ДЗТ-1; *2*—реле типа ДЗТ-3; *3*—реле типа ДЗТ-4.

г) Чувствительность защиты

Коэффициент чувствительности определяется по (5-75). При этом $F_{ср}$ находят как $F_{раб}$ в точке пересечения характеристики $F_{ср}=f(F_{торм})$, соответствующей максимальному торможению, с прямой, проведенной из начала координат через точку, построенную по $F_{раб}=I_{осн}w_{осн}+I_{I}w_{I}+I_{II}w_{II}$ и

$$F_{торм}=\Sigma I_{торм}w_{торм}, \qquad (5\text{-}81)$$

где $I_{осн}$, I_{I}, I_{II} — токи в плечах защиты;

$w_{торм}$ — число витков тормозной обмотки, подсчитанное по (5-80).

Для реле с одной тормозной обмоткой (реле типа ДЗТ-1) $F_{торм}$ получают как произведение $w_{торм}$ на ток, проходящий по этой обмотке.

Коэффициент чувствительности $k_{ч}$ должен быть не менее указанного в п. Б, «д».

5-9. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ ЗАЩИТЫ

А. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗНАЯ ЗАЩИТА ТИПА ДФЗ-2

а) Пусковые реле тока обратной последовательности

Уставка реле 1ПР2 по току обратной последовательности на входе фильтра I_2 выбирается по выражению

$$I_{2уст}\leqslant\frac{I_{2мин}}{n_{т}k_{ч}}, \qquad (5\text{-}82)$$

где $I_{2мин}$ — минимальное значение тока обратной последовательности в защищаемой линии при несимметричном к. з. на ней (обычно при однофазном к. з. на одном из концов линии);

$n_{т}$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$k_{ч}$ — коэффициент чувствительности, равный 2.

Величина $I_{2уст}$ принимается равной наибольшему из трех возможных значений тока срабатывания по исполнению защиты (1—1,5—2 *а*), удовлетворяющему выражению (5-82). При этом уставки по первичному току, равные $n_{т}I_{2уст}$, по концам линии должны быть одинаковыми. Коэффициенты трансформации трансформаторов тока по концам линии, как правило, тоже должны быть одинаковыми. При применении трансформаторов тока с разными $n_{т}$ их величины не должны отличаться более чем в 2 раза.

При разных величинах $n_{т}$ по концам линии, в случае невозможности обеспечения равенства уставок реле 1ПР2 по первичному току, допускается различие их величин, не превышающее 25%. При этом должна быть задана специальная регулировка для реле 1ПР1 в более грубом комплекте защиты, обеспечивающая величину его уставки по первичному току, не менее чем в 2 раза меньшую уставки реле 1ПР2 более чувствительного комплекта.

б) Нулевая приставка (трансформатор *1ТН*$_0$)

Применяется при недостаточной чувствительности защиты к однофазным замыканиям на землю, когда $I_{2уст}$, подсчитанный по выражению (5-82), оказывается меньше 1 *а*. В этом случае $I_{2мин}$ в (5-82) принимается для двухфазного к. з., а чувствительность защиты к однофазным к. з. обеспечивается выбором соответствующей отпайки трансформатора *1ТН*$_0$, для чего используются кривые рис. 5-8. Эти кривые представляют собой зависимость кратности тока в реле *1ПР2* от величины тока $3I_0$ при определенных значениях тока I_2. Они построены для всех возможных комбинаций уставок по току обратной последовательности и отпаек трансформатора *1ТН*$_0$. Для выбора отпайки *1ТН*$_0$ должны быть подсчитаны токи I_2 и $3I_0$ на входе панели защиты при минимальном значении тока однофазного короткого замыкания в защищаемой линии. По значению тока I_2 находят кривые на трех графиках, соответствующих выбранной уставке $I_{2уст}$ и разным отпайкам трансформатора *1ТН*$_0$. При подсчитанном значении $3I_0$ определяют по кривым кратности тока в реле *1ПР2*.

Из трех возможных уставок трансформатора *1ТН*$_0$ выбирается наибольшая, обеспечивающая кратность тока в реле *1ПР2* не менее 2. При использовании трансформатора *1ТН*$_0$ коэффициенты трансформации трансформаторов тока, уставки по I_2 и отпайки *1ТН*$_0$ по концам линии должны быть одинаковыми.

в) Пусковые токовые реле *3ЭТ* и *4ЭТ*

Ток срабатывания

$$I_{ср}=\frac{I_{нагр}}{n_{т}}\frac{k_{н}}{k_{в}}, \qquad (5\text{-}83)$$

где $I_{нагр}$ — ток нагрузки линии;

$n_{т}$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока;

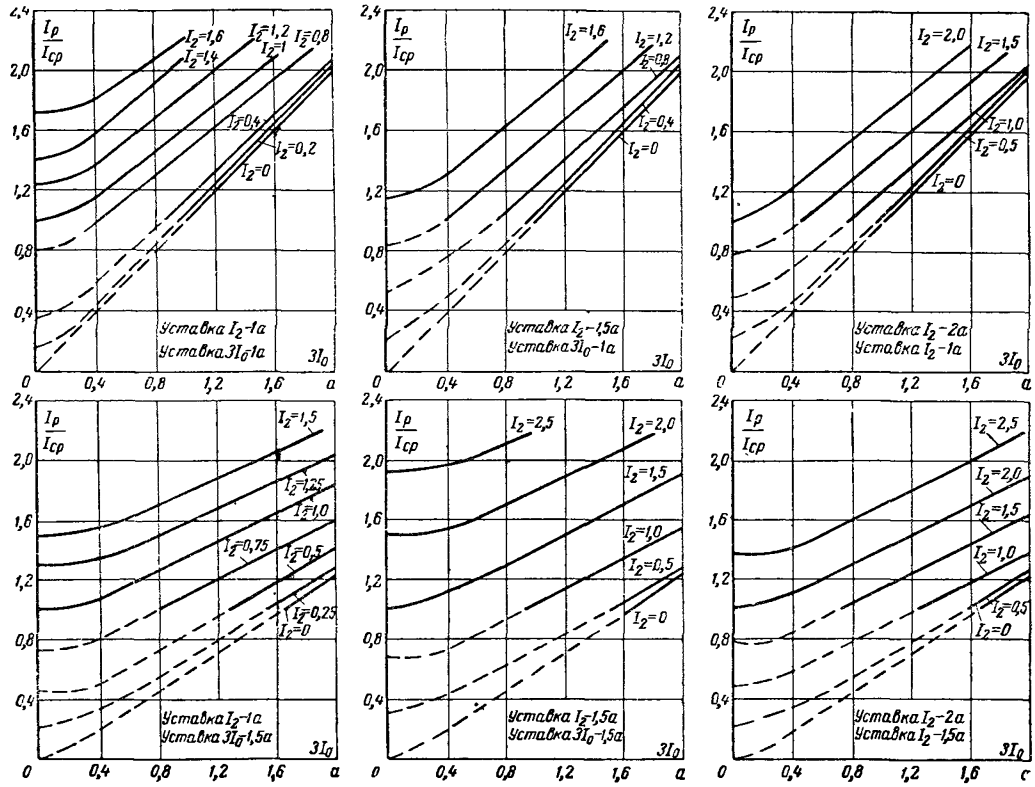
$k_{н}$ — коэффициент надежности, равный 1,1—1,2;

$k_{в}$ — коэффициент возврата ($k_{в}<1$).

Для реле *3ЭТ* ток $I_{нагр}$ принимается соответствующим максимальной нагрузке линии в условиях нормального режима сети.

Для реле *4ЭТ* ток $I_{нагр}$ соответствует максимальной нагрузке линии в условиях наиболее тяжелого реально возможного режима работы сети.

Ток срабатывания реле *4ЭТ* должен быть больше тока срабатывания реле *3ЭТ* не менее чем в 1,6 раза.



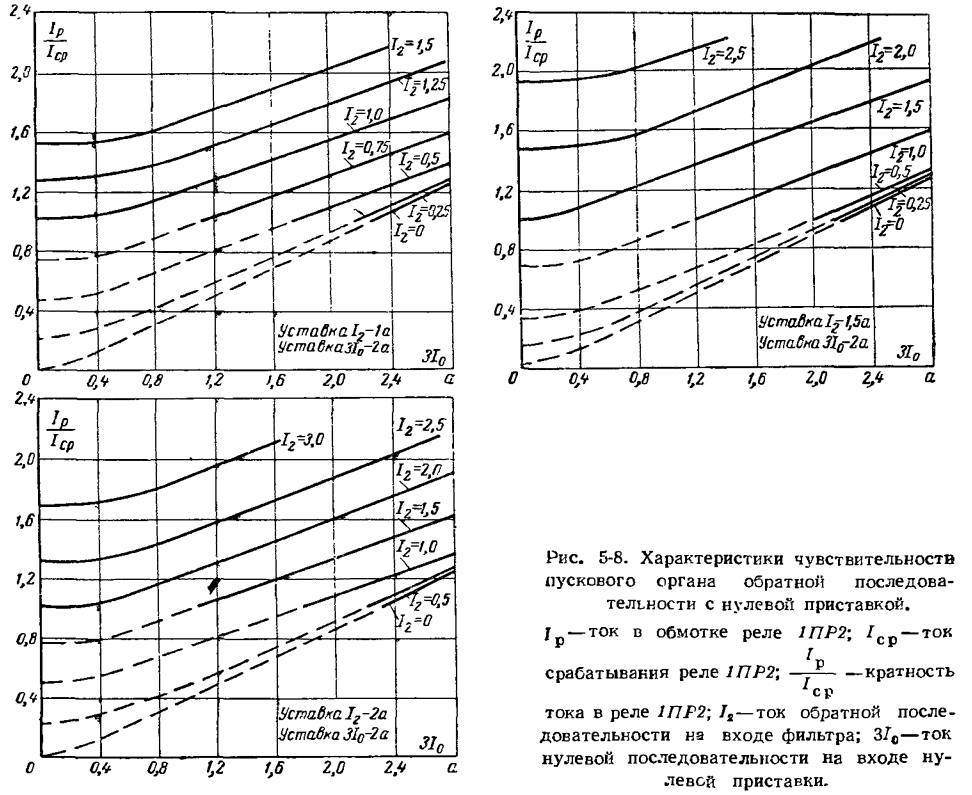


Рис. 5-8. Характеристики чувствительности пускового органа обратной последовательности с нулевой приставкой.

$I_р$ — ток в обмотке реле *1ПР2*; $I_{ср}$ — ток срабатывания реле *1ПР2*; $\frac{I_р}{I_{ср}}$ — кратность тока в реле *1ПР2*; I_2 — ток обратной последовательности на входе фильтра; $3I_0$ — ток нулевой последовательности на входе нулевой приставки.

г) Реле напряжения *1ЭН*

Напряжение срабатывания определяется по (5-40) по условию отстройки от минимального эксплуатационного напряжения.

д) Чувствительность реле *4ЭТ* и *1ЭН* при трехфазных коротких замыканиях

Минимальный коэффициент чувствительности защиты к трехфазным к. з. на защищаемой линии

$$k_{ч.мин} = \sqrt{\frac{U_{ср} n_н}{\sqrt{3}\, z_{1ЛЭП} I_{ср} n_т}}, \qquad (5\text{-}84)$$

где $U_{ср}$ — напряжение срабатывания реле *1ЭН*;
$I_{ср}$ — ток срабатывания реле *4ЭТ*;
$z_{1ЛЭП}$ — сопротивление прямой последовательности защищаемой ЛЭП;
$n_т$, $n_н$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения;
$k_{ч.мин}$ должен быть не менее 1,5.

При более низком значении $k_{ч.мин}$ необходимо вместо реле *1ЭН* применить реле полного сопротивления (реле *1ИС*).

е) Реле полного сопротивления *1ИС*

$$z_{ср} \geqslant k_н z_{1ЛЭП} \frac{n_т}{n_н}, \qquad (5\text{-}85)$$

где $k_н$ принимается равным 1,5—2. Настройка $z_{ср}$ должна производиться при токе, равном $I_к^{(3)}$, при повреждении в конце зоны действия реле *1ИС*.

ж) Коэффициент k фильтра $I_1 + kI_2$ блока манипуляции

Коэффициент k должен выбираться по условию обеспечения преобладания составляющей kI_2 над составляющей I_1 при наиболее неблагоприятном соотношении этих составляющих, которое получается при двухфазном замыкании на землю, когда токи I_1 и I_2 находятся в противофазе. Для определения необходимой величины коэффициента k находят максимальное отношение тока I_1 к току I_2 на каждом из концов линии при двухфазном замыкании на землю в зоне защиты. Для этого должны быть выполнены расчеты токов $I^{(1,1)}$ при коротком замыкании на каждом из концов защищаемой линии для нескольких режимов

$$k = k_н \frac{I_1^{(1,1)}}{I_2^{(1,1)}}, \qquad (5\text{-}86)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, равный 1,5—2.

Коэффициент k следует принимать равным ближайшему большему возможному значению уставки (4-6-8). Однако во избежание неправильной манипуляции при повреждении в зоне защиты вследствие влияния токов нагрузки рекомендуется принимать величину k не менее 6.

Коэффициент k устанавливается на обеих концах линии одинаковый.

з) Угол блокировки защиты

На линиях протяженностью до 120 *км* устанавливается угол блокировки 45—55°. На линиях свыше 120 *км* угол блокировки должен быть 55—65°. Ввиду сложности выполнения точной настройки угла блокировки целесообразно задавать его величину в указанных выше пределах.

Б. ФИЛЬТРОВАЯ ЗАЩИТА ТИПА ПЗ-160

а) Пусковое реле напряжения обратной последовательности (реле *1ЭН*)

$$U_{2ср} = \frac{\sqrt{3} U_{2ф.мин}}{n_н k_ч}, \qquad (5\text{-}87)$$

где $U_{2ср}$ — междуфазное напряжение обратной последовательности на входе фильтра, соответствующее срабатыванию реле;
$U_{2ф.мин}$ — минимальное фазное напряжение обратной последовательности в месте установки реле при однофазном коротком замыкании на противоположном конце линии в условиях максимально возможного ослабления режима работы сети и радиального питания линии (опробование или неуспешное АПВ);
$n_н$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения;
$k_ч$ — коэффициент чувствительности, принимается равным 2.

Уставка реле *1ЭН* принимается одинаковой для обоих концов линии.

Если $U_{2ср}$ получается менее 3,5—4 *в* (возможно на линиях большой протяженности), $U_{2ср}$ выбирается при двухфазном замыкании на землю, а для обеспечения надежного пуска защиты при однофазных к. з. дополнительно к реле *1ЭН* устанавливается пусковое токовое реле нулевой последовательности. Его уставка выбирается по выражению

$$I_{ср} = \frac{3I_{0мин}}{k_ч}, \qquad (5\text{-}88)$$

где $I_{0мин}$ — минимальный ток нулевой последовательности при однофазном к. з. на противоположном конце линии в том же режиме, что и при первоначальном выборе уставки реле *1ЭН*;
$k_ч$ — коэффициент чувствительности, равный 2.

Уставки токовых реле принимаются, так же как и для реле *1ЭН*, одинаковыми по концам линии.

б) Реле направления мощности (*2ИМ*)

Чувствительность реле *2ИМ* зависит от рабочих отпаек трансформаторов ФТОП, устанавливаемых соответственно заданным заводом допустимым максимальным значениям токов к. з. на входе панели.

Выбор отпаек производится по расчетным величинам вторичного $I_{к.з.макс}$ согласно табл. 5-4.

Чувствительность реле *2ИМ* проверяется при однофазном к. з. на противоположном конце линии в условиях максимально возможного ослабления режима работы сети.

$$k_ч = \frac{S_{2мин}}{n_н n_т S_{2ср}}, \qquad (5\text{-}89)$$

Таблица 5-4

Допустимый вторичный ток к. з. и чувствительность реле *2ИМ* на разных отпайках трансформаторов ФТОП

Отпайки трансформаторов ФТОП	Защита ПЗ-162		Защита ПЗ-164	
	$I^{(2)}_{макс}$, *а*	Чувствительность реле *2ИМ* по обратной последовательности, *ва*	$I^{(3)}_{макс}$, *а*	Чувствительность реле *2ИМ* по обратной последовательности, *ва*
5—6	25	2,5	60	3
5—7	60	5	100	5,5
5—8	170	7,5	170	8

где $S_{2мин}$ — минимальная мощность обратной последовательности в месте установки реле, *ва*;

$S_{2ср}$ — чувствительность реле *2ИМ* по обратной последовательности.

Коэффициент чувствительности должен быть $k_ч \geqslant 3$.

в) Реле тока и напряжения в схеме пуска при трехфазных к. з. (в схеме защиты ПЗ-165)

Уставка токового реле выбирается по (5-83), как для реле *4ЭТ* в защите ДФЗ-2. Уставка реле напряжения подсчитывается согласно (5-40).

Чувствительность этих реле проверяется при трехфазных коротких замыканиях на противоположном конце линии в нормальном и ослабленных режимах.

Для токового реле

$$k_ч = \frac{I^{(3)}_к}{n_т I_{ср}}; \qquad (5\text{-}90а)$$

для реле напряжения

$$k_ч = \frac{U_{ср} n_н}{\sqrt{3} I^{(3)}_к z_{1ЛЭП}}, \qquad (5\text{-}90б)$$

где $I^{(3)}_к$ — ток трехфазного короткого замыкания;

$U_{ср}$, $I_{ср}$ — напряжение и ток срабатывания реле.

г) Реле времени *6ЭВ*

Выдержка времени отстраивается от цикла неуспешного АПВ после отключения резервной защитой линии на смежном участке.

$$t_{уст} = 2t_{защ} + t_{АПВ} + t_{вкл} + t_{откл} + t_{зап}, \qquad (5\text{-}91)$$

где $t_{защ}$, $t_{АПВ}$ — уставки резервной защиты и АПВ поврежденной линии;

$t_{вкл}$, $t_{откл}$ — время включения и отключения выключателей;

$t_{зап}$ — время запаса (1 — 1,5 *сек*).

5-10. ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА

а) I Зона защиты

Сопротивление срабатывания в первичных омах

$$z_{срI} = k_1 z_л, \qquad (5\text{-}92а)$$

где $z_л$ — сопротивление прямой последовательности защищаемой линии;

k_1 — коэффициент отстройки от следующих элементов первичной цепи (подключенных к шинам подстанции другого конца линии), равный 0,85 — 0,8.

Коэффициент k_1 включает в себя расчетный запас (порядка 10%) и учитывает погрешности защиты вместе с трансформаторами тока и напряжения.

Для линий с отпайками дополнительно определяется сопротивление срабатывания по условию отстройки от к. з. за трансформатором отпайки:

$$z_{срI} = k_1 [z_{л\text{-}т} + (1 - \Delta n_{тр})^2 z_{тр}], \qquad (92б)$$

где $z_{л\text{-}т}$ — сопротивление участка линии от места установки защиты до трансформатора отпайки;

$z_{тр}$ — сопротивление трансформатора;

$\Delta n_{тр}$ — относительное изменение коэффициента трансформации трансформатора от номинального при регулировании напряжения.

Для линии с отпайкой принимается меньшее значение из подсчитанных по (5-92а) и (5-92б).

Для суммарной защиты параллельных линий $z_{срI}$ выбирается по (5-92а). При этом предусматривается включение (автоматическое или ручное) первой зоны только при отключении одной из параллельных линий.

б) II зона защиты

1. По условию согласования с дистанционной защитой следующих линий

$$z_{срII} = k_1 (z_{л1} + k_2 k_р z_{1л2}), \qquad (5\text{-}93)$$

где $z_{1л2}$ — сопротивление срабатывания I зоны защиты следующей линии;

k_2 — коэффициент отстройки от защиты следующей линии, равный 0,8 — 0,7;

$k_р$ — коэффициент разветвления [см. (5-12) и (5-13)]

$$k_р = \frac{I_{л2}}{I_{л1}}. \qquad (5\text{-}94)$$

Если дистанционная защита следующего участка установлена на параллельных линиях, оборудованных дифференциальной направленной защитой, то при параллельной работе этих линий достаточно отстраиваться от шин следующего участка. Тогда

$$z_{срII} = k_1 \left(z_{л1} + \frac{z_{л2} k_р}{2} \right) \qquad (5\text{-}95$$

при условии равенства сопротивлений параллельных линий

$$z'_{л2} = z''_{л2} \qquad (5\text{-}96$$

при отключении одной из этих параллельных линий согласование с 1 зоной оставшейся в работе линии будет обеспечено.

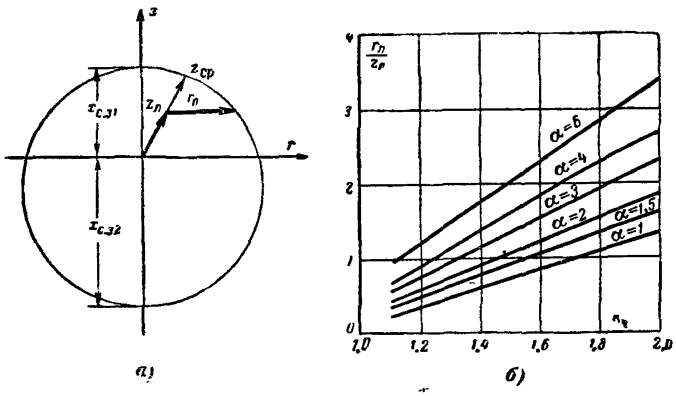


Рис. 5-9. Смещение характеристики $z_{ср}=f(\varphi)$ реле сопротивления. *а* — смещенная характеристика; *б* — кривые чувствительности реле к переходным сопротивлениям при к. з. в конце линии для различных смещений; $k_ч$ — коэффициент чувствительности реле при металлическом повреждении в конце линии; $\alpha=\frac{x_{с.з2}}{x_{с.з1}}$.

При определении $z_{срII}$ для суммарной дистанционной защиты двух параллельных линий по (5-93) и (5-95) в первый член вместо $z_{л1}$ нужно подставлять $0{,}5\,z_{л1}$.

2. По условию отстройки от к. з. за трансформатором на противоположном конце линии

$$z_{ср\,II}=k_1[z_{л1}+(1-\Delta n_{тр})^2 k_р z_{тр}]. \qquad (5\text{-}97)$$

Для отстройки от к. з. за трансформатором отпайки от защищаемой линии вместо $z_{л1}$ подставляют сопротивление участка линии от места установки защиты до отпайки.

Коэффициент $k_р$ при этом принимают равным 1.

3. По условию отстройки от токовой отсечки линии, не имеющей I зоны дистанционной защиты,

$$z_{ср\,II}=k_1 z_{л1}+k_2 z_{отс} k_р, \qquad (5\text{-}98)$$

где $z_{отс}$ — зона отсечки, *ом*, определяемая графическим путем или аналитически согласно (5-20) при двухфазном к. з. в условиях реально возможной подпитки, по которой рассчитывается и $k_р$.

Отстройка от отсечки по току и напряжению выполняется аналогично. При этом по отдельности определяется зона реле тока и зона реле напряжения. Величина $z_{ср}$ определяется по согласованию с более короткой зоной.

Из полученных $z_{срII}$ по тем или иным приведенным выше условиям отстройки от быстродействующих защит принимается наименьшее значение.

Выдержка времени II зоны отстраивается от выдержки времени тех защит, с которыми она согласовывается:

$$t_{II}=t_{Л2}+\Delta t, \qquad (5\text{-}99)$$

где $z_{Л2}$ — выдержка времени I зоны следующей линии;

Δt — ступень селективности, принимается равной 0,4 — 0,5 *сек*.

При наличии на следующих линиях поперечной дифференциальной защиты II зона должна быть отстроена по времени от каскадного действия этой защиты.

4. Чувствительность II зоны.

Коэффициент чувствительности

$$k_ч=\frac{z_{ср\,II}}{z_{л1}}. \qquad (5\text{-}100)$$

Коэффициент $k_ч$ должен быть порядка 1,2—1,3. Для защиты с меньшими погрешностями допускается меньший $k_ч$.

Для коротких линий во избежание отказа II зоны при коротком замыкании с переходным сопротивлением желательно иметь $k_ч$ не менее 1,5—2.

Для повышения чувствительности к замыканиям через переходное сопротивление на реле полного сопротивления в защитах ПЗ-152, ПЗ-153 следует применять смещение характеристики по оси реактивных сопротивлений, как указано на рис. 5-9,*а*. На рис. 5-9,*б* приведены кривые, позволяющие оценить эффективность смещения.

Если чувствительность II зоны получается ниже допустимой, целесообразно принять $z_{срII}$ по условию согласования со II зоной защиты соответствующей линии $Л_2$ и отстроить ее по времени от этой II зоны, т. е. увеличить t_{II} на одну ступень.

При недостаточной чувствительности защиты, уставка $z_{срII}$ которой выбрана по условию отстройки от к. з. за трансформатором, следует удлинить ее вторую зону по условию согласования с защитой шин низшей стороны трансформатора и отстроить ее от этой защиты шин по времени.

в) Пусковые органы и III зона защиты

Уставки пусковых органов выбираются по условию отстройки от тока максимальной нагрузки линии в условиях наиболее тяжелого реально возможного режима работы сети.

Для токовых пусковых органов $I_{ср}$ выбирается по (5-83). В защите типа ПЗ-152 токовое реле *6PT*, предназначенное только для III зоны защиты, должно быть в 1,05—1,1 раза грубее реле *7PT* и *8PT*, осуществляющих переключения дистанционного органа по фазам. Уставки реле *7PT* и *8PT* выбираются, как указано выше. Это условие необходимо для обеспечения правильной ликвидации защитой двойных замыканий на землю.

Для реле сопротивления с несмещенной характеристикой

$$z_{ср}=\frac{U_{мин}}{\sqrt{3}I_{нагр.макс}k_в k_н}, \text{ ом/фаза}, \qquad (5\text{-}101)$$

где $U_{мин}$ — минимальное напряжение в месте установки реле в режиме, когда по линии протекает ток $I_{нагр.макс}$;

$k_в$ — коэффициент возврата;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1 — 1,25.

Для реле сопротивления с направленной характеристикой (например, защита типа ПЗ-157), включаемых на разность токов,

$$z_{ср}=\frac{U_{мин}\cos(\varphi_{м.ч}-\varphi_н)}{\sqrt{3}I_{нагр.макс}k_в k_н}, \text{ ом/фаза}, \qquad (5\text{-}102)$$

где $\varphi_{м.ч}$ — угол максимальной чувствительности реле;

$\varphi_н$ — угол нагрузки; обычно составляет 30—40°.

Если пусковые органы используются в качестве III зоны, необходимо подсчитывать $z_{ср}$ по второму условию, т. е. согласовывать с II или III зоной защиты следующей линии и выбирать $z_{ср}$ по наименьшему

значению. Согласование $z_{ср}$ III зоны со II зоной защиты следующей линии при использовании у этой защиты III зоны выполняется аналогично приведенному выше в (5-93) для II зоны. Согласование с последней (III или II) зоной следующей линии должно производиться только при наличии реальной возможности недопустимого неселективного действия.

III зона, выполненная на токовых реле (например, в защите типа ПЗ-152), должна отстраиваться от максимального тока короткого замыкания в конце II зоны защиты следующего участка с $k_н = 1{,}25—1{,}5$ и с учетом коэффициента разветвления $k_р$ в условиях минимальной подпитки.

III зона должна отстраиваться по времени от той зоны защиты следующей линии, с которой она согласовывается согласно (5-99).

Чувствительность III зоны (последней) оценивается согласно (5-4) или (5-100) при к. з. в конце следующей линии.

$k_ч$ должен быть не менее 1,2.

г) Расчет уставок дистанционных реле

Пересчет на вторичные значения $z_{ср}$:

$$z_{р.уст} = z_{ср}\frac{n_т}{n_н}, \qquad (5\text{-}103)$$

где $n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока,

$n_н$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

При этом имеется в виду, что при настройке реле имитируется двухфазное к. з. и $z_{р.уст}$ подсчитывается по напряжению срабатывания и току, поданным на вход панели защиты. Для реле, включенного на разность токов и линейное напряжение,

$$z_{р.уст} = \frac{U_{ср}}{2I};$$

для реле, включенного на фазный ток и линейное напряжение,

$$z_{р.уст} = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3}I}.$$

Одновременно с уставками реле следует задавать вторичные токи, при которых они должны настраиваться. Величины этих токов для измерительных дистанционных реле определяются при двухфазном к. з. в конце зоны действия реле в минимальном расчетном режиме. При этом для I зоны может быть принят ток к. з. в конце защищаемой линии.

Ток для настройки пусковых дистанционных реле выбирается соответственно условию, по которому выбрано $z_{ср}$ равным либо току максимальной нагрузки, от которого отстроена защита согласно (5-101) или (5-102), либо минимальному значению тока двухфазного к. з. в конце защищаемой зоны.

При настройке реле должно соблюдаться условие, чтобы заданный ток превышал ток точной работы реле не менее чем в 1,3—1,5 раза. Ток точной работы для такой проверки определяется с учетом ограничения времени действия защиты, если таковое имеется (например для I зоны защиты типов ПЗ-152, ПЗ-157).

Рекомендуется, кроме токов для настройки дистанционных реле, задавать токи, при которых следует дополнительно проверить $z_{р.уст}$. Величины этих токов целесообразно принимать равными току трехфазного или двухфазного к. з. в конце защищаемой зоны (или в конце защищаемой линии для I зоны) при нормальном режиме работы сети.

д) Примеры согласования характеристик дистанционных защит

На рис. 5-10,*а* показано сочетание характеристик на транзитных одинарных линиях, где у защит, действующих в сторону *Б*, согласовываются между собой третьи зоны, а у защит, направленных в сторону *А*, третьи зоны согласовываются с вторыми зонами. На рис. 5-10,*б* при другом сочетании длины линий на комплекте *А* применена двухступенчатая защита (III зона используется только в качестве пусковых органов)

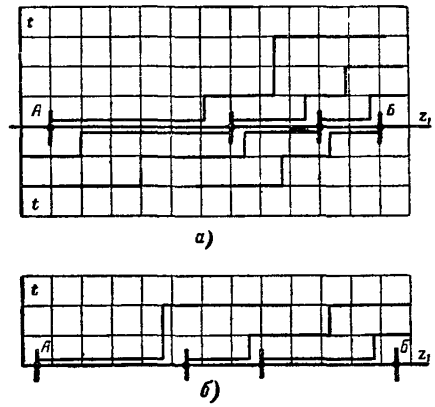


Рис. 5-10. Характеристики дистанционной защиты транзита одинарных линий.

с увеличенной на одну ступень выдержкой времени II зоны, которая при согласовании с I зоной следующей линии была бы недостаточно чувствительна при к. з. в конце защищаемой линии. На рис. 5-11,*а* показаны сочетание характеристик защиты одинарной линии с индивидуальными защитами параллельных линий и перемещение зон при отключении одной из параллель-

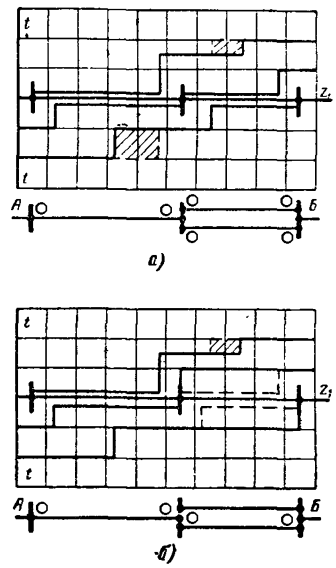


Рис. 5-11. Характеристики защиты транзита с параллельными линиями.

а — на параллельных линиях установлены индивидуальные защиты; *б* — на параллельных линиях применены суммарные защиты.

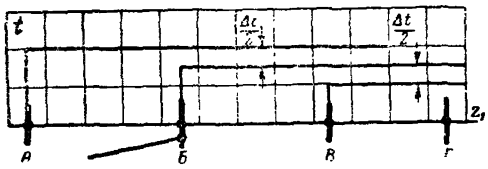


Рис. 5-12. Характеристики одноступенчатых защит.

ных линий. На рис. 5-11,*б* — то же, что и на рис. 5-11,*а*, но при применении на параллельных линиях суммарной защиты с вводящейся в действие I зоной при отключении одной из параллельных линий. На рис. 5-11,*б* на одинарной линии со стороны *А* установлена увеличенная выдержка времени для отстройки от каскадного действия дифференциальной направленной защиты.

На рис. 5-12 показано сочетание одноступенчатых характеристик резервных дистанционных защит линий, оборудованных основными быстродействующими защитами (продольными дифференциальными и высокочастотными). Во избежание чрезмерного возрастания выдержек времени резервных защит принята пониженная в 2 раза ступень селективности, что может привести к неселективному действию смежных резервных защит. При недопустимости такой неселективности ее можно исправлять действием АПВ, например применяя ускорение после АПВ на комплекте линии *ВГ* и отстройку по времени АПВ линии *АБ* на подстанции *А* от цикла неуспешного АПВ линии *БВ* на подстанции *Б*.

е) Устройство токовой компенсации и уставка токового реле нулевой последовательности, переключающего реле сопротивления на фазные напряжения

Коэффициент трансформации автотрансформатора токовой компенсации (например, в защите типов ПЗ-152, ПЗ-153)

$$n_{АТ} = \frac{z_0 - z_1}{3z_1}, \qquad (5\text{-}104)$$

где z_1 и z_0 — сопротивления прямой и нулевой последовательностей защищаемой линии.

Уставка токового реле нулевой последовательности для защиты с токовым пуском (ПЗ-152)

1. По условию согласования с пусковым органом

$$I_{сро} = 0{,}9I_{ср.пуск}, \qquad (5\text{-}105)$$

где $I_{ср.пуск}$ — ток срабатывания пускового реле.

2. По условию отстройки от тока небаланса в нулевом проводе

$$I_{сро} = k_н I_{нб}, \qquad (5\text{-}106)$$

где $I_{нб}$ — ток небаланса в нулевом проводе при трехфазном к. з. на защищаемой линии в месте установки защиты; определяется согласно § 6-3,б;

$k_н$ — коэффициент надежности, равный 1,25—1,5.

Принимается большее значение $I_{сро}$.

Уставка $I_{ср\,0}$ для защиты с дистанционным пуском выбирается по (5-106).

ж) Блокировка при неисправности вторичных цепей напряжения

Реле повышения напряжения блокировки, включенное через фильтр напряжения нулевой последовательности, отстраивается от напряжения небаланса в условиях нормального режима. Основываясь на опыте эксплуатации, можно принимать $U_{0\,ср}=5$ *в*. Через $U_{0\,ср}$ обозначено напряжение нулевой последовательности на входе фильтра, при котором срабатывает реле.

Уставка токового реле нулевой последовательности, запрещающего блокировке выводить из действия защиту при замыканиях на землю,

$$I_{ср} = \frac{3I^{(1,1)}_{0мин}}{k_ч}, \qquad (5\text{-}107)$$

где $I^{(1,1)}_{0мин}$ — минимальная величина тока нулевой последовательности при двухфазном замыкании на землю в конце второго (резервируемого) участка при наибольшем возможном ослаблении режима сети;

$k_ч$ — коэффициент чувствительности, принимаемый не менее 1,3 — 1,5.

з) Блокировка при качаниях

Блокировка при качаниях должна применяться только на линиях, по которым реально возможно прохождение тока качаний. При этом целесообразность использования блокировки может оцениваться по режиму асинхронного хода. На рис. 5-13 показана расчетная схема, на которой защищаемая линия представлена участком *АБ*. Эта схема должна быть составлена для нормального режима. На отрезке *MN*, пропорционально величинам действительных сопротивлений цепи *MN*, отмечается положение в этой цепи защищаемой линии *АБ*. Предполагая наибольшее возможное ослабление режима со стороны, ближайшей к защищаемой линии, соответственно перемещают точку *M* в новое положение *M'*.

В условиях рассматриваемого режима в середине между *M'* и *N* (точка *K*) находится электрический центр качаний. Если он не попадает в нанесенную на графике II зону защиты комплекта *А* и эта II зона надежно отстроена от точки *K*, то блокировку при качаниях в комплекте *А* не используют. Отстройка защиты *А* от точки *K*

$$k_н = \frac{z_{АII}}{z_{A\text{-}K}}; \qquad (5\text{-}108)$$

$k_н$ должен быть не более 0,85—0,8.

Если электрический центр качаний может оказаться в пределах II зоны защиты, то необходимо применение блокировки при качаниях, если уставка II зоны по времени менее 1,5 *сек*. При $t_{II\,уст} > 1{,}5$ *сек* для II зоны блокировки при качаниях не требуется. В этом случае проверяется необходимость блокировки для I зоны по условию отстройки ее от электрического центра каче-

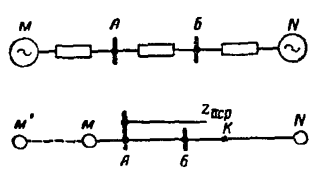


Рис. 5-13. Графическая проверка необходимости блокировки при качаниях.

ний так, как указано выше для II зоны. При использовании несинхронного АПВ для предотвращения ложного срабатывания I зоны защиты ее уставка срабатывания может приниматься меньше 0,8 $z_л$.

Уставка пускового реле блокировки при качаниях

1. Реле тока или напряжения обратной последовательности

$$I_{2ср} = \frac{I^{(1)}_{2мин}}{k_ч n_т}; \qquad (5\text{-}109а)$$

$$U_{2ср} = \frac{U^{(1)}_{2мин}}{k_ч n_н}, \qquad (5\text{-}109б)$$

где $I_{2ср}$, $U_{2ср}$ — ток и напряжение срабатывания обратной последовательности на входе фильтра;

$I^{(1)}_{2мин}$, $U^{(1)}_{2мин}$ — минимальные величины тока и напряжения обратной последовательности при однофазном коротком замыкании в конце второго (резервируемого) участка;

$n_т$, $n_н$ — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения;

$k_ч$ — коэффициент чувствительности, равный 1,3 — 1,5.

При недостаточной чувствительности реле U_2 переходят на реле I_2. При недостаточной чувствительности реле I_2 применяют комбинированный пуск от токов обратной и нулевой последовательностей, устанавливая реле I_0 или комплект КРБ-121 (например, в защитах типа ПЗ-153, ПЗ-158).

2. Комбинированный пуск от токов I_2 и I_0.

Уставка по пуску только от тока обратной последовательности выбирается по (5-109а) при двухфазном коротком замыкании.

Уставка по пуску только от тока I_0

$$I_{0\,ср} = \frac{3I^{(1)}_{0мин}}{k_ч n_т}, \qquad (5\text{-}110)$$

где $I_{0мин}$ — минимальный ток нулевой последовательности в линии в тех же условиях, что и для (5-109а);

$n_т$ — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Коэффициент $k_ч$ для отдельного реле нулевой последовательности должен быть такой же, как в (5-109а). Для комбинированного устройства (например, типа КРБ-121) $k_ч$ должен быть не менее 1,3—1,5.

Уставка реле напряжения для фиксации трехфазного короткого замыкания

Уставка выбирается по условию отстройки от минимального напряжения в нормальном режиме согласно (5-40).

Чувствительность реле проверяется при трехфазном коротком замыкании в конце II зоны в максимальном режиме:

$$k_ч = \frac{U_{ср} n_н}{\sqrt{3} I^{(3)}_к z_{срII}} \qquad (5\text{-}111а)$$

Для защиты ПЗ-157, где в цепь обмотки реле напряжения введен контакт, срабатывающий при действии реле тока обратной последовательности,

$$k_ч = \frac{U_{ср} n_н}{\sqrt{3} I^{(3)}_к z_{срII} k_в}, \qquad (5\text{-}111б)$$

где $k_в < 1$.

Уставка деблокирующего реле времени принимается выше максимальной выдержки времени защиты смежных линий:

$$t_{уст} = t_{защ.макс} + \Delta t, \qquad (5\text{-}112)$$

где $t_{защ.макс}$ — максимальная выдержка времени защиты смежных линий;

Δt — ступень селективности, принимаемая $\Delta t = 0{,}7 - 0{,}8$ *сек*.

5-11. ЗАЩИТА НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С БОЛЬШИМ ТОКОМ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

А. ТОКОВЫЕ НАПРАВЛЕННЫЕ И НЕНАПРАВЛЕННЫЕ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ СО СТУПЕНЧАТЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

а) Основные положения по выбору расчетных режимов

1. Для обеспечения согласования характеристик и должной чувствительности защиты от замыканий на землю следует по возможности стабилизировать количество заземленных нейтралей в отдельных точках сети при разных режимах ее работы.

2. При выборе уставок реле только по условию отстройки от токов короткого замыкания в разных точках сети или по условию согласования по чувствительности защит следующих участков, максимальные токи нулевой последовательности рассчитываются при том виде замыкания на землю (однофазном или двухфазном), при котором их величины больше. При равенстве результирующих сопротивлений прямой и обратной последовательностей ($z_{1\Sigma} = z_{2\Sigma}$) отношение тока $I^{(1,1)}_0$ к току $I^{(1)}_0$ в одном и том же месте повреждения составляет:

$$\frac{I^{(1,1)}_0}{I^{(1)}_0} = \frac{2z_{1\Sigma} + z_{0\Sigma}}{z_{1\Sigma} + 2z_{0\Sigma}}. \qquad (5\text{-}113)$$

При этом если $z_{0\Sigma} < z_{1\Sigma}$, то $I^{(1,1)}_0 > I^{(1)}_0$.

3. Оценка чувствительности защиты производится:

а) при однофазных к. з., если междуфазные защиты реагируют на двухфазные замыкания на землю (не блокируются от реле тока нулевой последовательности);

б) при том виде замыкания на землю (однофазном или двухфазном), при котором ток нулевой последовательности меньше (п. 1), если междуфазные защиты блокируются при замыканиях на землю.

4. При выборе расчетных режимов работы сети следует иметь в виду, что ток нулевой последовательности в линии при внешнем относительно нее коротком замыкании возрастает:

а) при увеличении тока в месте к. з. вследствие уменьшения результирующего сопротивления прямой и обратной последовательностей;

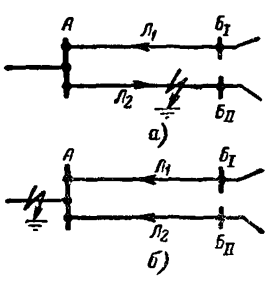


Рис. 5-14. Влияние взаимоиндукции параллельных цепей на величину токов нулевой последовательности. *а* — токи в линиях *1* и *2* возрастают; *б* — токи в линиях *1* и *2* уменьшаются.

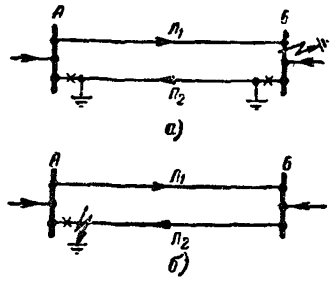


Рис. 5-15. Условия определения максимального расчетного тока нулевой последовательности для защиты линии *1* на подстанции *А*.
-Х- — отключенный выключатель линии.

б) при уменьшении отношения эквивалентного сопротивления нулевой последовательности со стороны данной линии к сопротивлению нулевой последовательности с противоположной стороны.

5. При расчетах токов замыкания на землю должно учитываться влияние взаимоиндукции линий, которое приводит к уменьшению токов одинакового направления и к увеличению токов противоположного направления в параллельных цепях. Вследствие этого возможны случаи:

а) возрастания токов в линии при удалении места к. з. (см. рис. 5-14,*а*, где ток I_0 в линиях $Л_1$ и $Л_2$ может возрастать при перемещении места повреждения от шин *А* к шинам $Б_{II}$);

б) уменьшения тока в линии за счет наличия подпитки к. з. по параллельной цепи (на рис. 5-14,*б* наличие тока в линии $Л_2$ уменьшает ток в линии $Л_1$).

б) I ступень без выдержки времени

Первичный ток срабатывания

$$I_{cpI} = k_н 3 I_{0расч}, \qquad (5\text{-}114)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, равный 1,2—1,3;
$I_{0расч}$ — расчетный ток нулевой последовательности в защищаемой линии, от которого отстраивается защита.

Расчетным током $I_{0\,расч}$ для направленных защит является максимально возможный ток нулевой последовательности прямого направления (от шин в месте установки защиты в защищаемую линию) при коротком замыкании в той точке сети, от которой должна быть отстроена I ступень:

1) для транзитных и радиальных линий — при к. з. на шинах противоположного конца линии; при этом наличие отпаек с трансформаторами Y/Y, Y/Δ и $Y_0/Δ$ принимается во внимание только для выбора расчетных режимов;

2) для блоков линия — трансформатор Y_0/Y_0 или линия — автотрансформатор с заземленной нейтралью — при к. з. на шинах за трансформатором (автотрансформатором);

3) для линий с отпайками на трансформаторы Y_0/Y_0 или на автотрансформаторы с заземленной нейтралью $I_{0\,расч}$ подсчитывается как при к. з. на противоположном конце линии, так и на шинах за трансформатором (автотрансформатором); уставка выбирается по большему значению $I_{0\,расч}$;

4) для параллельных линий при наличии взаимоиндукции между ними — при к. з. на шинах противоположного конца линии при отключенной и заземленной с обеих сторон параллельной линии (рис. 5-15,*а*) и в начале отключенной от шин в месте установки защиты параллельной линии (рис. 5-15,*б*).

Для выбора уставки принимается большее значение $I_{0\,расч}$.

Ненаправленные защиты должны быть также отстроены от максимального тока I_0 обратного направления (с защищаемой линии к шинам в месте установки защиты).

Уставка подсчитывается по наибольшему значению $I_{0\,расч}$ прямого и обратного направления тока.

При наличии несинхронного АПВ на линии ток срабатывания I ступени защиты нулевой последовательности должен отстраиваться также от тока нулевой последовательности, который определяется неодновременным включением фаз выключателя,

$$I_{0\,расч} = \frac{2E_ф}{2z_{1Σ} + z_{0Σ}}. \qquad (5\text{-}115)$$

Для определения максимальных значений $I_{0\,расч}$ при сложной схеме сети может оказаться необходимым рассчитать величины токов нулевой последовательности для различных режимов работы сети.

Чувствительность I ступени

Чувствительность I ступени оценивается по длине защищаемой зоны в условиях нормального рабочего режима сети. Зона действия I ступени должна охватывать не менее 15—20% длины защищаемой линии. При меньшей длине защищаемой зоны применение I ступени без выдержки времени целесообразно лишь в некоторых случаях, например когда в режиме каскадного действия защиты (после отключения линии с противоположного конца) длина защищаемой зоны возрастает до значения, большего указанных выше.

Длина зоны действия I ступени определяется графически по кривым спадания тока нулевой последовательности при перемещении к. з. вдоль защищаемой линии аналогично определению зоны действия междуфазной отсечки (см. V — 4,*в*).

Для радиальной линии или для параллельных, но в режиме каскадного отключения короткого замыкания зона I ступени в процентах от длины защищаемой линии при однофазном к. з. может быть вычислена по выражению

$$z_{отс}\% = \frac{3E_ф - I_{ср}(z_{1с} + z_{2с} + z_{0с})}{I_{ср}(z_{1л} + z_{2л} + z_{0л})}, \qquad (5\text{-}116)$$

где $E_ф$ — фазная электродвижущая сила;
$I_{ср}$ — ток срабатывания *I* ступени;
$z_{1с}$, $z_{2с}$, $z_{0с}$ — результирующие сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей системы до шин в месте установки защиты;
$z_{1л}$, $z_{2л}$, $z_{0л}$ — сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей защищаемой линии.

в) II ступень

Первичный ток срабатывания выбирается по условию согласования по чувствительности с защитой следующей линии:

$$I_{cpII} = \frac{k_н}{k_р} I_{cpЛ2}, \qquad (5\text{-}117)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, равный 1,1;
$I_{срI Л2}$ — ток срабатывания первой ступени защиты следующей линии $Л_2$.

Минимальная величина $k_р$ обычно получается в следующих случаях:

1) для радиальных и транзитных одиночных линий — при каскадном отключении или одностороннем включении на неустранившееся повреждение следующей линии ($Л_2$);

2) для линий с отпайками, питающими трансформаторы с заземленной нейтралью, — при отключении отпаечных трансформаторов;

3) для защиты параллельных линий — в одном из двух случаев:

а) при работе одной из них и заземлении с обеих сторон второй линии при наличии взаимоиндукции между линиями;

б) при коротком замыкании на параллельной линии, отключенной в месте установки защиты (каскадное действие защиты);

4) для транзита с двумя и более участками параллельных линий — при работе на рассматриваемом участке одной из линий и обеих линий на следующем участке; при этом при наличии взаимоиндукции между линиями на первом участке отключенная параллельная линия должна быть заземлена с обеих сторон.

При определении коэффициента разветвления $k_р$ следует выбирать реальные режимы ослабления подпитки шин противоположного конца защищаемой линии током нулевой последовательности.

Коэффициент $k_р$ может подсчитываться при к. з. в начале или в конце линии $Л_2$ (на шинах), если при перемещении места повреждения по линии $Л_2$ $k_р$ не изменяется. Такое упрощение в определении $k_р$ вполне пригодно на участках радиальных линий, а также одиночных транзитных и кольцевых линий, не шунтируемых параллельными цепями. При наличии параллельных линий или обходных связей, шунтирующих второй участок (линию $Л_2$), постоянство коэффициента $k_р$ не сохраняется и ток $3I_0$ в линии $Л_1$, равный $\frac{1}{k_р} I_{срЛ2}$, следует определять при к. з. в конце зоны действия I ступени защиты линии $Л_2$. Такой расчет производится графическим путем по кривым спадания токов $3I_0$ в цепи короткого замыкания (рис. 5-16). Полученное значение $3I_{0Л1}$ подставляется в выражение

$$I_{ср\,II\,Л1} = k_н 3I_{0Л1}. \qquad (5\text{-}118)$$

Если в режиме, выбранном для расчета $I_{ср\,II\,Л1}$, первая ступень защиты линии $Л_2$ не приходит в действие при к. з. в начале линии $Л_2$, то согласование характеристик теряет смысл, поскольку в этом реально возможном режиме II ступень защиты не будет охватывать шины противоположного конца линии $Л_1$. В этом случае следует уставку II ступени защиты линии $Л_1$ согласовывать не с I, а со II ступенью защиты линии $Л_2$. Можно также выполнить согласование уставки II ступени защиты $Л_1$ с уставкой I ступени $Л_2$ в другом режиме при условии выполнения защиты четырехступенчатой.

Если уставка II ступени выбирается по (5-117) с подсчетом величины $k_р$ при к. з. в конце линии $Л_2$, то нужно проверить, что при к. з. в начале линии $Л_2$ в том же режиме I ступень ее защиты приходит в действие.

Согласование II ступени защиты должно производиться с I ступенью защиты всех линий, отходящих от шин противоположного конца защищаемой линии. При наличии на шинах противоположного конца или на отпайке от защищаемой линии трансформатора со схемой звезда—звезда с заземленными нейтралями или автотрансформатора с заземленной нейтралью дополнительно производится отстройка II ступени защиты линии $Л_1$ от замыканий на землю на шинах за трансформатором (автотрансформатором):

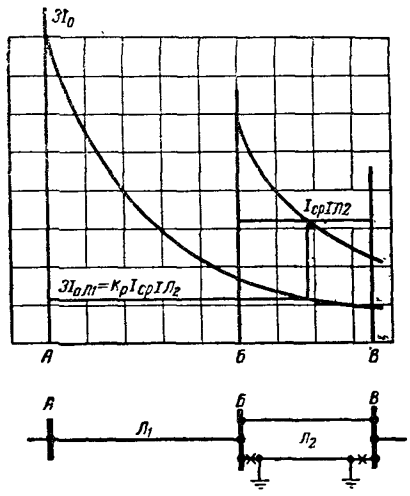


Рис. 5-16. Графическое определение тока срабатывания защиты.
-Х- — отключенный выключатель линии.

$$I_{срII} = k_н 3I_{0Л1}, \qquad (5\text{-}119)$$

где $I_{0Л1}$ — максимальный ток нулевой последовательности в защищаемой линии при замыкании на землю на шинах за трансформатором (автотрансформатором);

$k_н$ — коэффициент надежности, принимается порядка 1,2 — 1,3.

При этом если трансформатор (автотрансформатор) включен на отпайку, то расчетным режимом будет отключение защищаемой линии на противоположном конце.

При наличии быстродействующей защиты шин за трансформатором (автотрансформатором) и при обеспечении исправления возможной неселективной работы II ступени действием АПВ в целях повышения чувствительности этой II ступени вместо ее отстройки от к. з. на шинах может быть произведено согласование с I ступенью защиты линии, подключенной к шинам за трансформатором (автотрансформатором):

$$I_{срII.Л1} = \frac{k_и}{k'_р} I'_{срI}, \qquad (5\text{-}120)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, принимается порядка 1,3 — 1,4;

$k'_р$ — максимальный коэффициент разветвления, равный отношению тока I_0 в защищаемой линии к приведенному к напряжению защищаемой линии току I_0 в линии, с защитой которой производится согласование;

$I'_{срI}$ — приведенный к напряжению защищаемой линии ток срабатывания I ступени защиты, с которой производится согласование.

При недопустимости вычисления $k_р$ по соотношению токов к. з. в начале или конце линии, с защитой которой ведется согласование II зоны (см. выше), ток

$3I_0$ в защищаемой линии, равный $\frac{1}{k'_р} I'_{срI}$, определяется графическим путем по кривым спадания токов $3I_0$.

Ненаправленная II ступень должна также согласовываться с первыми ступенями защит смежных линий при обратном направлении тока нулевой последовательности (от линии к шинам).

Окончательно принимается наибольшая уставка II ступени из всех полученных по условию согласования с I ступенью защит линий следующего участка.

При отсутствии на какой-либо из смежных линий I ступени или при ее нечувствительности к к. з. в начале линии в выбранном расчетном режиме II ступень следует согласовывать с вторыми ступенями защит этих линий, если при этом обеспечивается согласование с I ступенью защит остальных линий следующего участка. Если это условие выполнимо не на всех остальных линиях, то для тех линий, где оно не проходит, должно быть выполнено согласование с II ступенью. При этом принимается максимальная уставка, полученная по условию согласования с вторыми ступенями следующих линий.

Чувствительность II ступени

Коэффициент чувствительности II ступени

$$k_ч = \frac{3I_{ор}}{I_{ср}}, \qquad (5\text{-}121)$$

где $I_{ор}$ — минимальный ток нулевой последовательности в защищаемой линии при к. з. на шинах ее противоположного конца;

$I_{ср}$ — выбранный ток срабатывания II ступени.

$k_ч$ должен быть не менее 1,5. При недостаточной чувствительности следует перейти на согласование чувствительности II ступени с вторыми ступенями защит следующих участков. Допускается обеспечение должной чувствительности при каскадном действии защиты.

Выдержка времени II ступени

Уставка по времени II ступени отстраивается от наибольшей выдержки времени тех защит, с которыми она согласовывается по чувствительности, и определяется по (5-99).

г) III ступень

Ток срабатывания выбирается по следующим условиям:

1. Согласование с защитами следующих элементов сети. Согласование производится со вторыми или третьими ступенями защит следующих линий аналогично тому, как приведено выше для II ступени.

При наличии на шинах противоположного конца или на отпайке защищаемой линии трансформаторов со схемой звезда—звезда с заземленными нейтралями производится согласование по чувствительности с их защитой от замыканий на землю.

Для ненаправленной III ступени необходимо также производить согласование по чувствительности с защитами смежных линий.

2. Отстройка от токов небаланса в нулевом проводе:

а) в максимальном реально возможном нагрузочном режиме;

б) при трехфазных к. з. на элементах сети, следующих за защищаемой линией (а если III ступень ненаправленная, то и на предыдущих, т. е. при обратном направлении тока), если выдержка времени III ступени окажется меньше времени действия междуфазных защит этих элементов. Наиболее часто это соответствует повреждениям за трансформаторами, питающимися от шин противоположного конца или от отпайки защищаемой линии. Ток срабатывания по этим условиям подсчитывается по (5-33). Ток $I_{нб.макс}$ определяется согласно § 6-3,б.

Чувствительность III ступени

Коэффициент чувствительности определяется согласно (5-121), но при к. з. в конце следующих резервируемых линий; $k_ч$ должен быть не менее 1,2. В целях повышения недостаточной чувствительности допускается отказ от согласования по чувствительности с защитой следующих элементов.

При невозможности обеспечить необходимую чувствительность следует определить в выбранном расчетном режиме зону охвата III ступенью резервируемой линии и проверить возможность ликвидации повреждения при каскадной работе защиты противоположного конца поврежденной линии и резервных (третьих) ступеней защит всех линий, приходящих на шины в начале поврежденной линии.

Выдержка времени III ступени

Определяется согласно (5-99) по условию отстройки от наибольшей выдержки времени всех тех защит, с которыми производилось согласование по чувствительности.

Выдержка времени III ступени защиты параллельных линий, включенной на сумму токов, должна также отстраиваться от времени каскадного отключения повреждения на одной из защищаемых линий вторыми ступенями защиты этой линии:

$$t_{III} = t'_{II} + t''_{II} + t_{откл} + \Delta t, \qquad (5\text{-}122)$$

где t'_{II}, t''_{II} — выдержки времени вторых ступеней по концам поврежденной линии;

$t_{откл}$ — время отключения выключателя;

Δt — ступень селективности, равная 0,4—0,5 *сек*.

Для III ступени в этом случае принимается более высокая уставка по времени из полученных по (5-99) и (5-122).

д) Чувствительность органа направления мощности

В тех случаях, когда защита должна реагировать на удаленные замыкания на землю (например, в конце длинной защищаемой линии или на длинной резервируемой линии), необходимо проверять чувствительность реле направления мощности при повреждении в конце защищаемого участка в режиме, соответствующем минимальному значению тока нулевой последовательности в защищаемой линии. При этом коэффициент чувствительности определяется по (5-45).

Коэффициент чувствительности $k_ч$ при к. з. в конце защищаемой линии должен быть не менее 2.

Для резервируемого участка проверяется, что реле направления мощности не ограничивает чувствительность токового органа последней (третьей или четвертой) ступени.

При к. з. в конце зоны действия последней ступени, чему соответствует $3I_0 = I_{срIII}$, коэффициент чувствительности должен быть $k_ч \geqslant 1$.

При недостаточной чувствительности и невозможности принятия мер для должного ее повышения следует отказаться от применения органа направления для данной ступени и провести согласование ее по чувствительности и времени с защитами смежных линий.

е) Примеры сочетания характеристик

На рис. 5-17,*а* II и III ступени защиты линии $Л_2$ на подстанции *Б* согласовываются соответственно с I и II ступенями защит линии $Л_3$ на подстанции *В*. II ступень линии $Л_1$ на подстанции *А* тоже согласована с I ступенью следующей линии $Л_2$, но так как она недостаточно ее охватывает, для более быстрой ликвидации повреждений на защищаемой линии применена

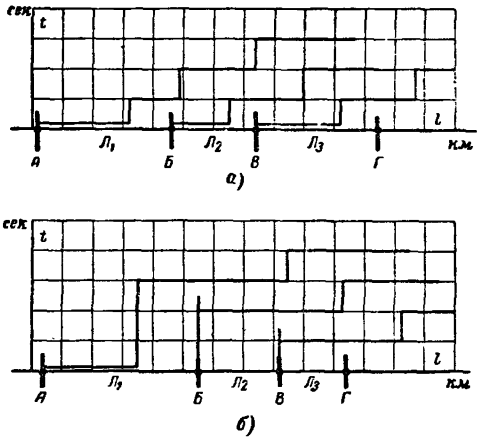


Рис. 5-17. Характеристики защиты от замыканий на землю на одиночных транзитах.

четырехступенчатая защита, в которой III (дополнительная) ступень, надежно охватывающая линию $Л_1$, согласована по чувствительности и по времени с II ступенью защиты линии $Л_2$. IV резервная ступень согласована по чувствительности и времени с III ступенью защиты линии $Л_2$. На рис. 5-17,*б* на линиях $Л_2$ и $Л_3$ I ступень неэффективна и поэтому не установлена. Для всех защит применено согласование по чувствительности и времени вторых ступеней с вторыми и третьих с третьими.

На рис. 5-18 приведено сочетание характеристик двухцепного транзита. На параллельных линиях *ВГ* с обеих сторон III ступень включена на сумму токов и поэтому отстроена по времени от каскадного действия вторых ступеней этих же линий. Вследствие этого выдержки времени третьих ступеней на этих линиях завышены. С целью снижения времени ликвидации замыканий на землю на резервируемом участке (линии *ВГ*) и общего снижения характеристик на предыдущих участках (см. характеристику линий *АБ* на подстанции *А*) защита линий *БВ* на подстанции *Б* выполнена четырехступенчатой.

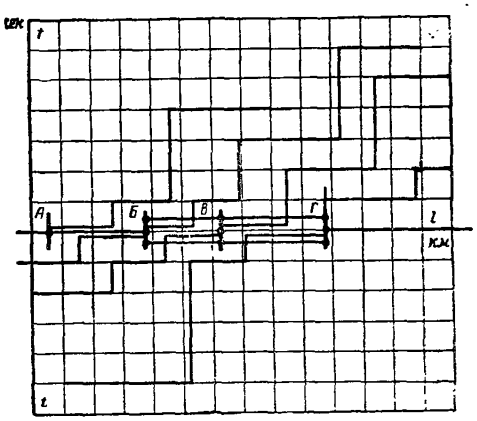


Рис. 5-18 Характеристики защиты от замыканий на землю на двухцепном транзите.

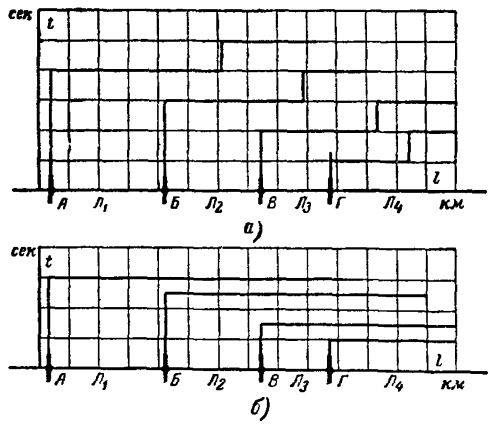


Рис. 5-19. Характеристики защиты от замыканий на землю на транзитах, состоящих из коротких линий.
а — двухступенчатая защита; *б* — одноступенчатая защита.

На рис. 5-19,*а* показаны характеристики двухступенчатых защит транзита, состоящего из коротких линий. Так как I ступень на этих линиях не проходит, установлены только II и III ступени. Согласование произведено для вторых ступеней со вторыми, а для третьих — с третьими. На рис. 5-19,*б* показаны характеристики одноступенчатых защит для такого же транзита, как и на рис. 5-19,*а*. Для снижения выдержек времени интервалы между характеристиками защит линий $Л_3$ и $Л_4$ на подстанциях *В* и *Г*, а также линий $Л_1$ и $Л_2$ на подстанциях *А* и *Б* уменьшены до 0,2—0,3 *сек*. С целью исправления возможных неселективных действий защит линий $Л_1$ и $Л_3$ на подстанциях *А* и *В* на защитах линий $Л_2$ и $Л_4$ на подстанциях *Б* и *Г* применено ускорение после АПВ.

На рис. 5-20 показано согласование характеристики защиты линии *А—Б* с характеристиками защит двух линий, отходящих от подстанции *Б* (к подстанциям *В* и *Г*). II ступень защиты линии *А—Б* отстроена по чувствительности от I ступени защиты линии *Б—Г*, а по времени — от II ступени защиты линии *Б—В*, с которой она тоже согласовывалась по чувствительности. III ступень защиты линии *А—Б* отстроена по чувствительности от третьей зоны защиты линии *Б—В* и по времени от II ступени защиты линии *Б—Г*, так как с ней она также согласована по чувствительности.

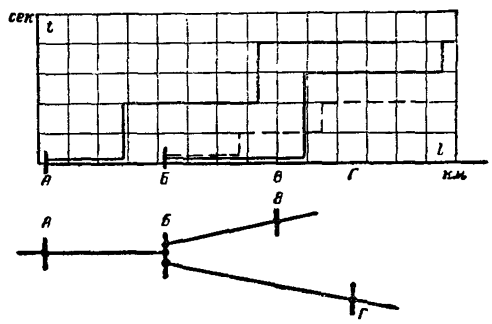


Рис. 5-20. Согласование характеристик защиты от замыканий на землю по чувствительности и по времени.

Б. ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРОВ И АВТОТРАНСФОРМАТОРОВ

а) Токовые направленная и ненаправленная защиты трансформаторов и автотрансформаторов с заземленной нейтралью

Ток срабатывания выбирается по условию согласования по чувствительности с защитами последних (третьих или четвертых) ступеней защит линий, отходящих от шин, на которые работает трансформатор (автотрансформатор). Согласование производится так же, как для II и III ступеней защиты линий от замыканий на землю (см. § 5-11, А, п. «в» и «г»).

Чувствительность защиты

Коэффициент чувствительности определяется согласно (5-121) при к. з. в конце наиболее протяженной линии в таком режиме, при котором ток нулевой последовательности в трансформаторе (автотрансформаторе) имеет минимальную величину. Коэффициент $k_ч$ должен быть не менее 1,2.

Выдержка времени принимается на ступень селективности выше наибольшей уставки по времени защиты отходящих линий.

б) Защита напряжения нулевой последовательности на трансформаторах с разземленной нейтралью

Напряжение срабатывания

$$U_{ср} = k_н \frac{3U_{0макс}}{n_н}, \qquad (5\text{-}123)$$

где $U_{0макс}$ — максимальное напряжение нулевой последовательности при однофазном замыкании на шинах в месте установки защиты в режиме работы сети с заземленной нейтралью;

$k_н$ — коэффициент надежности; принимается равным 1,5;

$n_н$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Максимальная величина напряжения нулевой последовательности получается при наибольшем реально возможно ослаблении схемы нулевой последовательности на прилежащем участке.

Чувствительность защиты оценивается в режиме отделения защищаемого трансформатора от сети с большим током замыкания на землю и работы на однофазное замыкание на землю при разземленной нейтрали.

Коэффициент чувствительности

$$k_ч = \frac{\sqrt{3}U_{ном}}{n_н U_{ср}}, \qquad (5\text{-}124)$$

где $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение обмотки защищаемого трансформатора, нормально подключенной к сети с большим током замыкания на землю;

$U_{ср}$ — выбранное напряжение срабатывания реле;

$n_н$ — коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Коэффициент $k_ч$ должен быть не менее 1,5.

Выдержка времени принимается равной $t = 0—0{,}5$ *сек*.

5-12. ЗАЩИТА ШИН

А. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ШИН 35 *кв* И ВЫШЕ

Ток срабатывания реле дифференциальной защиты одиночной системы шин, а также пусковых органов защиты двойной системы шин с фиксированным присоединением элементов выбирается по двум условиям:

1) отстройки от максимального тока нагрузки наиболее загруженного элемента, присоединенного к защищаемым шинам:

$$I_{с.з} = k_и I_{нагр.макс}, \qquad (5\text{-}125)$$

где $k_п$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1 — 1,2;

2) отстройки от максимального тока небаланса при внешнем коротком замыкании на одном из присоединений:

$$I_{с.з} = k_и I_{нб.расч}, \qquad (5\text{-}126)$$

где $I_{нб.расч}$ — расчетный ток небаланса, определяемый согласно § 6-3;

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,4 — 1,5 при выполнении защиты с реле типа РНТ; 1,6 — 1,8 — при выполнении защиты с реле типа ЭТ-521.

Ток срабатывания избирательных органов защиты с фиксированным присоединением элементов выбирается по условию отстройки от тока небаланса при внешнем коротком замыкании на другой системе шин согласно (5-126).

Коэффициент чувствительности защиты определяется согласно выражению

$$k_ч = \frac{I_{к.мин}}{I_{с.з}}, \qquad (5\text{-}127)$$

где $I_{к.мин}$ — ток к. з. в минимальном режиме (см. § I-3,а).

Коэффициент чувствительности должен быть не меньше 2.

При использовании на защищаемых линиях АПВ шин в режиме подачи напряжения на отключившиеся шины от одного из питающих элементов допускается иметь пониженный коэффициент чувствительности порядка 1,5.

Ток срабатывания реле контроля исправности токовых цепей принимается 1—1,2 *а* при использовании реле типа ЭТ-521/2 с параллельным соединением обмоток (при вторичном номинальном токе трансформаторов тока 5 *а*).

Выдержка времени устройства контроля исправности токовых цепей выбирается больше наибольшей выдержки времени резервной защиты присоединений, подключенных к защищаемым шинам.

Б. НЕПОЛНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ШИН ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ток срабатывания первой ступени защиты (токовой отсечки) определяется по условию отстройки от максимального тока, проходящего через защиту при коротком замыкании за реакторами фидеров, не включенных

в схему защиты (K_1 на рис. 5-21,*а* или K_2 на рис. 5-21,*б*):

$$I_{с.з} = k_н (I_{к.макс} + k_{сам} I_н), \qquad (5\text{-}128)$$

где $I_{к.макс}$ — максимальный ток короткого замыкания (периодическая составляющая при $t = 0$) при трехфазном коротком замыкании за реактором;
$I_н$ — суммарный ток нагрузки, присоединенной к защищаемым шинам;
$k_{сам}$ — коэффициент самозапуска, принимаемый равным 1,2 — 1,3;
$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2.

Ток срабатывания II ступени защиты (максимальной токовой) выбирается по условию отстройки от суммарного тока нагрузки всех питаемых элементов, не включенных в схему защиты, с учетом самозапуска:

$$I_{с.з} = \frac{k_н}{k_в} k_{сам} I_н, \qquad (5\text{-}129)$$

где $k_{сам}$ — коэффициент самозапуска 2,5;
$k_в$ — коэффициент возврата, принимаемый равным 0,85.

Чувствительность отсечки характеризуется коэффициентом чувствительности при двухфазном металлическом коротком замыкании на защищаемых шинах.

Коэффициент чувствительности должен быть не меньше 1,5,

$$k_ч = \frac{I_{к.мин}}{I_{с.з}} \geqslant 1{,}5. \qquad (5\text{-}130)$$

Чувствительность защиты дополнительно оценивается также длиной охватываемой дуги согласно выражению

$$l_з = \frac{\sqrt{3U_с^2 - 4I_{с.з}^2 x_с^2}}{1{,}05}, \qquad (5\text{-}131а)$$

где $l_з$ — длина дуги, охватываемая защитой, *м*;
$U_с$ — напряжение системы, приведенное к шинам, на которых установлена защита, *кв*;
$I_{с.з}$ — ток срабатывания защиты, *ка*;
$x_с$ — сопротивление системы, приведенное к защищаемым шинам, *ом*.

Расчет по (5-131) следует производить для минимального режима, когда $x_с$ имеет наибольшее значение.

В частном случае, когда токовые цепи защиты подключены не ко всем источникам питания (рис. 5-21,*б*), длина дуги, охватываемой защитой, определится по выражению

$$l_з = \frac{\sqrt{3U_с^2 - 4I_{с.з}^2 x_с^2 k_р^2}}{1{,}05}, \qquad (5\text{-}131б)$$

где $k_р$ — коэффициент разветвления, равный отношению тока, проходящего в месте короткого замыкания, к току, проходящему через защиту,

$$k_р = \frac{I_к}{I_{защ}}. \qquad (5\text{-}132)$$

Для оценки чувствительности защиты следует считать, что длина дуги $l_д$ в момент возникновения короткого замыкания равна расстоянию между токоведущими частями. В дальнейшем дуга будет увеличиваться за время 0,1 *сек* (защита без выдержки времени) на 20—30%, за время 0,5—1 *сек* — в 2 раза.

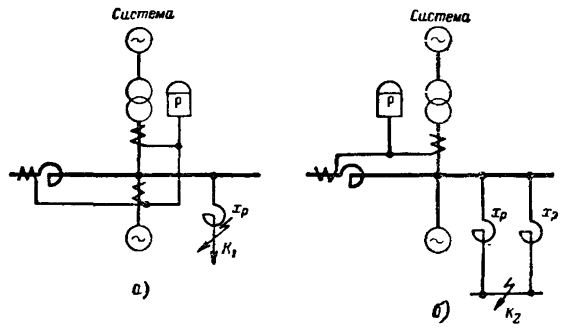


Рис. 5-21. Расчетные условия для выбора тока срабатывания токовой неполной дифференциальной защиты шин.
а — при одиночных реактированных линиях; *б* — при параллельных реактированных линиях.

Запас по чувствительности должен составлять

$$\frac{l_з}{l_д} \geqslant 1{,}5 - 2. \qquad (5\text{-}133)$$

Чувствительность максимальной токовой защиты шин характеризуется коэффициентом чувствительности $k_ч$ при металлическом двухфазном коротком замыкании за реактором питаемой линии:

$$k_ч = \frac{I_{к.мин}}{I_{с.з}}. \qquad (5\text{-}134)$$

Этот коэффициент должен быть не меньше 1,2.

Выдержка времени II ступени защиты выбирается по условию согласования по селективности с защитами линий, отходящих от защищаемых шин.

В. НЕПОЛНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ШИН ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ С БЛОКИРОВКОЙ МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ток срабатывания защиты выбирается по (5-129).

Напряжение срабатывания защиты выбирается по выражению

$$U_{с.з} = \frac{\sqrt{3} I_{с.з} x_{расч}}{k_н}, \qquad (5\text{-}135)$$

где $I_{с.з}$ — ток срабатывания защиты;
$U_{с.з}$ — напряжение срабатывания защиты;
$k_н$ — коэффициент надежности, равный 1,2 — 1,3;
$x_{расч}$ — наименьшее сопротивление элементов, от короткого замыкания за которыми отстраивается защита шин.

При одиночных линиях (рис. 5-21,*а*) $x_{расч}$ принимается равным сопротивлению реактора:

$$x_{расч} = x_р. \qquad (5\text{-}136а)$$

В тех случаях, когда две линии работают параллельно (рис. 5-21,*б*),

$$x_{расч} = \frac{x_р}{2}. \qquad (5\text{-}136б)$$

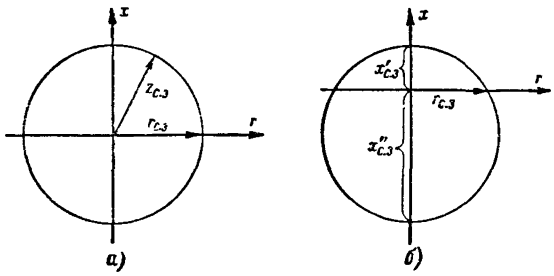


Рис. 5-22. К выбору уставки реле сопротивления неполной дифференциальной дистанционной защиты шин

Чувствительность реле напряжения оценивается длиной дуги, охватываемой защитой

$$l_з = \frac{U_{с.з}}{1{,}05}, \qquad (5\text{-}137)$$

и проверяется согласно (5-132).

Чувствительность токовых реле защиты оценивается по (5-130), (5-131а), (5-131б), (5-132).

При использовании токовых реле в качестве II ступени защиты ее уставки выбираются согласно (5-129)—(5-133).

Г. НЕПОЛНАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА ШИН ГЕНЕРАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Сопротивление срабатывания реле сопротивления выбирается согласно следующему выражению (рис. 5-22,*а*):

$$z_{с.з} = k_н z_{расч}, \qquad (5\text{-}138)$$

где $z_{расч}$ — наименьшее сопротивление элементов, от короткого замыкания за которыми отстраивается защита шин в соответствии с (5-136а) и (5-136б);

$k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 0,8.

Ток срабатывания токового пускового органа, выполняющего одновременно функцию резервной максимальной токовой защиты, определяется по (5-129).

Чувствительность реле сопротивления оценивается по длине дуги, охватываемой защитой, согласно выражению

$$l_з = \frac{\sqrt{3}}{2{,}1} \cdot \frac{U_с}{\sqrt{\frac{x_с^2}{z_{с.з}^2} + 1}}. \qquad (5\text{-}139)$$

Если токовые цепи защиты подключены не ко всем питающим элементам (рис. 5-21, *б*), длина дуги, охватываемой защитой, определяется согласно выражению

$$l_з = \frac{\sqrt{3}}{2{,}1} \cdot \frac{U_с}{\sqrt{k_р^2 \frac{x_с^2}{z_{с.з}^2} + 1}}, \qquad (5\text{-}140)$$

где $z_{с.з}$ — сопротивление срабатывания реле сопротивления.

Чувствительность защиты оценивается согласно (5-133).

Если чувствительность реле сопротивления недостаточна и условие (5-133) не удовлетворяется, целесообразно использовать реле сопротивления со смещенной характеристикой (рис. 5-22,*б*). При этом уставка реле сопротивления $z'_{с.з}$ выбирается из условия

$$x'_{с.з} = 0{,}8 z_{расч}. \qquad (5\text{-}141)$$

Определяется $R_{с.з}$ (рис. 5-22, *б*), для того чтобы обеспечить охват необходимой длины дуги,

$$R_{с.з} = \frac{k_р x_с}{\sqrt{\frac{3U_с^2}{4{,}4 l_з^2 k_н^2} - 1}}, \qquad (5\text{-}142)$$

где $k_н$ — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,5 — 2.

Определяется $x''_{с.з}$ (рис. 5-22, *б*) по следующему выражению:

$$x''_{с.з} = \frac{R_{с.з}^2}{x'_{с.з}}. \qquad (5\text{-}143)$$

Чувствительность токовых пусковых реле, выполняющих роль резервной максимальной токовой защиты, проверяется согласно (5-129)—(5-133).

5-13. ТРЕХФАЗНЫЕ АПВ (ТАПВ)

а) Факторы, определяющие необходимость введения выдержки времени на срабатывание устройств ТАПВ

С точки зрения эффективности время действия АПВ должно быть минимальным; однако в схемы устройств АПВ обычно приходится вводить выдержку времени на срабатывание $t_{ср}$, определяющуюся следующими факторами:

1. **Время деионизации среды** ($t_{д.с}$). Зависит от номинального напряжения линии, величины тока к. з., времени отключения повреждения, влияния подпитки дуги двигателями нагрузки и метеорологических условий.

Обычно при номинальных напряжениях $\leqslant$ 220, 400 и 500 *кв* время деионизации составляет соответственно $\leqslant$ 0,2, 0,3 и 0,35 *сек*.

2. **Время отключения повреждения с противоположного конца линии, имеющей двустороннее питание** $t_з + t_{о.в}$, где $t_з$ — время действия защиты, а $t_{о.в}$ — время отключения выключателя до разрыва дуги.

3. **Время готовности привода к повторному включению** ($t_{г.п}$). Для различных типов приводов это время составляет 0,1—0,3 *сек*. С учетом качества регулировки, смазки и влияния температуры окружающей среды $t_{г.п}$ может достигать 0,3—0,5 *сек*, что при выборе учитывается введением времени запаса.

4. **Время готовности выключателя к повторному включению** ($t_{г.в}$). Утяжеление условий работы выключателя при повторяющихся через небольшие интервалы времени отключениях тока к. з. отражают в его испытательном цикле

$$ВО - t_{п1} - ВО - t_{п2} - ВО - t_{п3} - ВО,$$

где *В* и *О* означают соответственно, что выключатель включился на короткое замыкание и отключил его,

а $t_п$ (время паузы) указывает, какой минимальный промежуток времени допустим между операциями отключения выключателя и его последующего включения.

Для большинства масляных выключателей по данным заводов-изготовителей $t_{п1}<t_{г.п}+t_{в.в}$, (т. е. для однократного АПВ $t_{г.в}\leqslant t_{г.п}+t_{в.в}$, где $t_{в.в}$ — время включения выключателя); $t_{п2}=10$—15 *сек*; $t_{п3}=60$—120 *сек*.

Для воздушных выключателей времена $t_п$ значительно меньше и определяются запасом сжатого воздуха в ресиверах и выполнением воздушных магистралей.

5. **Время определения предельного скольжения** $s_{пр}$. Зависит от схемы ожидания или улавливания синхронизма, предельно допустимого угла включения и времени включения выключателя.

6. **Время возврата релейной защиты ($t_{в.з}$), установленной со стороны питания по отношению к месторасположению данного устройства АПВ.** Для реле типа ЭТ совместно с реле времени типа ЭВ и для реле РТВ $t_{в.з}\leqslant 0{,}1$ *сек*. Для реле серии ИТ-80 $t_{в.з}$ обычно не превышает 0,2 *сек*, но в условиях самозапуска двигателей нагрузки у отдельных реле может достигать 0,3—0,5 *сек*.

б) Выбор уставок устройств ТАПВ однократного действия одиночных линий с односторонним питанием

Выдержка времени $t_{ср1}$ на подачу импульса, включающего масляный выключатель, определяется по четырем условиям (для схем АПВ с пуском от несоответствия):

$$t_{ср1}=t_{г.п}+t_{зап}; \tag{5-144}$$

$$t_{ср1}=t_{д.с}-t_{в.в}+t_{зап}; \tag{5-145}$$

$$t_{ср1}=t_{г.в}-t_{в.в}+t_{зап}; \tag{5-146}$$

$$t_{ср1}=t_{в.з}-t_{в.в}+t_{зап}, \tag{5-147}$$

где $t_{зап}$ принимается порядка 0,3 — 0,4 *сек*.

Если пуск схемы АПВ осуществляется релейной защитой, то $t_{ср1}$, полученное по (5-144) — (5-147), увеличивается на время отключения выключателя.

Определяющим, как правило, является условие (5-144), причем обычно принимают $t_{ср1}=0{,}5$—0,7 *сек*.

При осуществлении БАПВ на линиях с односторонним питанием необходимо обеспечить, чтобы продолжительность бестоковой паузы $t_{б.п}$ была не меньше времени, необходимого для надежной деионизации среды в месте повреждения,

$$t_{б.п}\geqslant t_{д.с}. \tag{5-148}$$

Выдержка времени на возврат схемы АПВ $t_в$ выбирается по двум условиям:

1. Необходимо обеспечить чтобы после АПВ на устойчивое к. з. релейная защита, действующая с максимально возможным временем, успела снова отключить выключатель раньше, чем схема АПВ вернется в состояние готовности к новому действию. В противном случае возможно многократное включение выключателя

$$t_в\geqslant t_{ср1}+t_{в.в}+t_{з.макс}+t_{о.в}+t_{зап}, \tag{5-149}$$

где $t_{з.макс}$ — максимальное время действия защиты после включения на устойчивое повреждение, а $t_{зап}$ принимается равным ступени селективности защиты.

2. Необходимо, чтобы после успешного АПВ новое действие устройства происходило не ранее, чем это предусмотрено стандартным испытательным циклом выключателя,

$$t_в\geqslant t_{п2}. \tag{5-150}$$

В комплектных реле РПВ-58 и РПВ-358 время $t_в$, определяемое продолжительностью заряда конденсатора (15—25 *сек*), всегда удовлетворяет указанным условиям.

в) Выбор уставок устройств ТАПВ двукратного действия одиночных линий с односторонним питанием

Выдержка времени $t_{ср1}$ определяется по (5-144) — (5-147).

Выдержка времени $t_{ср2}$ на второе повторное включение определяется стандартным испытательным циклом выключателя:

$$t_{ср2}\geqslant t_{п2}. \tag{5-151}$$

Обычно $t_{ср2}=10$—15 *сек*.

Выдержка времени $t_в$, так же как для устройств однократного действия, должна удовлетворять двум условиям:

$$t_в\geqslant t_{ср2}+t_{в.в}+t_{з.макс}+t_{о.в}+t_{зап} \tag{5-152}$$

и

$$t_в\geqslant t_{п3}. \tag{5-153}$$

В комплектных реле РПВ-258 время $t_в$, определяемое продолжительностью заряда конденсатора C_2, всегда удовлетворяет этим условиям.

г) Выбор уставок устройств ТАПВ без проверки синхронизма для линий с двусторонним питанием

Выдержка времени $t_{ср1}$ выбирается из условия отстройки от времени отключения к. з. с противоположного (II) конца линии и деионизации среды до АПВ с данной (I) стороны линии:

$$t_{ср1\,I}=t_{з\,II\,макс}-t_{з\,I\,мин}+t_{о.в\,II}-t_{в.в\,I}-t_{о.в\,I}+t_{д.с}+t_{зап}, \tag{5-154}$$

где $t_{з\,II\,макс}$ и $t_{з\,I\,мин}$ — максимальное и минимальное время действия защиты на II и I концах линии, а $t_{зап}$ принимается равным ступени избирательности защиты линии.

Для упрощения обычно принимают:

$$t_{ср1}=t_{з\,II\,макс}+t_{зап}. \tag{5-155}$$

$t_{ср1}$, рассчитанное по условию (5-155), как правило, больше, чем по условиям (5-144), (5-147), и является определяющим. В ряде случаев, для того чтобы снизить $t_{ср1}$ при его расчете по (5-155), не учитывают случай работы резервной защиты с выдержкой времени третьей ступени.

Выдержка времени на возврат схемы $t_в$ выбирается по выражениям (5-149) и (5-150).

Следует учесть, что при расчете $t_{ср}$ — $t_{з1}=t_{з\,I\,мин}$, а при расчете $t_в$ — $t_{з1}=t_{з1\,макс}$.

д) Расчетная проверка допустимости НАПВ

Проверка производится на основании рассмотренных в § 11-4 условий (11-3)—(11-5). Приведенное в этих условиях максимальное значение периодической составляющей тока в генераторе $I_{п.с}$ рассчитывается для случая включения с углом $\delta_{вкл} = 180°$, а коэффициенты $\frac{0{,}625}{x''_d}$, 3 и $\frac{0{,}84}{x''_d}$ показывают, какое отношение $\frac{I_{н.с}}{I_{ном}}$ может быть допущено, чтобы электромагнитный момент в генераторе (СК) не превысил максимально допустимого значения. Отметим, что последнее имеет место при включении с углами порядка 120° для турбогенераторов и 135° для гидрогенераторов.

Для трансформаторов сети НАПВ допустимо, если соблюдается условие (11-6).

Таким образом, применение НАПВ на данной линии допустимо, если при этом условия (11-3)—(11-6) соблюдаются для всех генераторов, синхронных компенсаторов и трансформаторов системы.

Если упрощенные расчеты показывают, что НАПВ недопустимо, следует произвести более точный расчет $I_{н.с}$ с учетом нагрузки, а также наличия параллельных или обходных связей (см. § 2-6).

Выбор $t_{ср}$ производится по (5-154) или (5-155), а $t_в$ — по (5-149) и (5-150).

е) Выбор уставок устройств БАПВ

Выбор уставок включает расчетную проверку допустимости цикла БАПВ и определение времени бестоковой паузы.

Допустимость БАПВ определяется по двум условиям:

$$1)\ \delta_{вкл} \leqslant \delta_{доп}, \qquad (5\text{-}156)$$

где $\delta_{доп}$ — предельный угол расхождения фаз (δ_0), при котором по условиям динамической устойчивости допустимо включение выключателя; $\delta_{доп}$ определяется расчетом динамической устойчивости.

Проверка по этому условию для систем, в которых преобладают турбогенераторы, обычно не производится.

2) По допустимому значению отношения $\frac{I_{н.с}}{I_{ном}}$ в условиях, когда $\delta_{вкл} < 120—135°$.

Для проверки по обоим условиям надо найти $\delta_{вкл}$. При проектировании БАПВ известно время действия защиты и выключателя, может быть оценено и время деионизации среды.

Выбрав время бестоковой паузы, регулируя отсечку сжатого воздуха, подаваемого в гасительные камеры выключателя, так, чтобы обеспечить надежную деионизацию среды $t_{б.п} \geqslant t_{д.с}$, можем найти полное время $\Delta t = t_з + t_{о.в}$ процесса короткого замыкания и разомкнутого состояния транзитной связи. Затем, зная максимальную мощность, передаваемую по линии, находим соответствующий этому режиму предаварийный — начальный угол $\delta_{нач}$. Далее, предполагая, что на систему бесконечно большой мощности работают генераторы с нагрузкой $P_{нагр}$ и что при разрыве связи движение роторов генераторов за небольшой отрезок времени Δt будет равномерно ускоренным, получим:

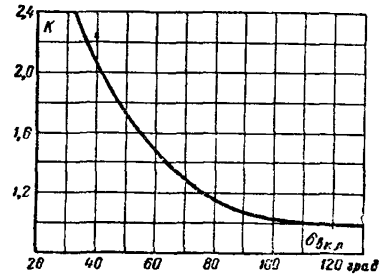


Рис. 5-23. График зависимости $k = f(\delta_{вкл})$.

$$\Delta\delta = \delta_{вкл} - \delta_{нач} = \frac{1}{2}\frac{P_{нагр}\omega_н}{P_н T_{ин}}\Delta t^2 \ рад; \qquad (5\text{-}157)$$

отсюда определяется $\delta_{вкл}$.

Таким образом, устройство БАПВ в зависимости от величины мощности, передаваемой по линии в предшествующем режиме, может производить повторное включение линии при различных углах $\delta_{вкл}$.

Рассмотрим, как производится проверка допустимости БАПВ по второму условию.

Ограничивающим при определении допустимости несинхронного включения является не ток, а величина электромагнитного момента, максимальное значение которого возникает в генераторах при включении с углами порядка 120—135°.

При БАПВ включение осуществляется с меньшими углами $\delta_{вкл}$, поэтому в этих случаях допустимые кратности токов могут быть повышены по сравнению с определяемым по (11-3)—(11-6), что с некоторым приближением может быть учтено коэффициентом k, на который умножаются правые части этих выражений.

Значения коэффициента k в функции от $\delta_{вкл}$ могут быть найдены по кривой, приведенной на рис. 5-23. Последняя показывает, насколько может быть увеличена допустимая кратность тока несинхронного включения в генераторах при различных $\delta_{вкл}$, меньших 120—135°. При построении кривых предполагалось, что электромагнитный момент несинхронного включения при каждом значении угла не должен превышать момента при к. з. на выводах генератора.

Таким образом, расширение области применения БАПВ по второму условию — увеличением допустимого значения $\delta_{вкл}$ ограничивается ординатами кривой, приведенной на рис. 5-23.

ж) Выбор уставок устройств ТАПВ с «ожиданием» синхронизма (АПВОС)

Для схемы рис. 11-13

Выдержка времени $t_{ср1}$ устройства (рис. 11-13) выбирается из условий того конца линии, где проверяется отсутствие встречного напряжения по (5-154) или (5-155). Уставка $t_в$ выбирается по (5-149) и (5-150).

Расчетная проверка допустимости АПВОС принципиально определяется так же, как в случае БАПВ; однако, учитывая, что АПВОС предназначен не для улавливания момента синхронизма, а только для контроля условий, близких к синхронным (обычно при возможности качаний по параллельной связи), $\delta_{вкл}$ принимается сравнительно небольшим (45—55°) и без специальной проверки.

Таким образом, известными можно считать $\delta_{вкл}$,

$t_{ср1}$ и $t_{в.в}$. Пользуясь рис. 11-14, можно написать соотношения:

$$\frac{\delta_{ср}+\delta_{в}}{t_{ср1}}=\frac{360}{T_{б}};\quad \frac{\delta_{вкл}-\delta_{ср}}{t_{в.В}}=\frac{360}{T_{б}},$$

где $T_б$ — период биения; $\delta_{ср}$ и $\delta_в$ — углы срабатывания и возврата реле *4КС*, причем $\delta_в = k_в\delta_{ср}$, а $t_{в.В}$ учитывает время действия промежуточного реле схемы АПВ.

Приравнивая левые части соотношений и преобразуя, получим:

$$\delta_{ср}=\frac{t_{ср1}\delta_{вкл}}{1{,}85t_{в.В}+t_{ср1}}; \qquad (5\text{-}158)$$

здесь принят $k_в = 0{,}85$.

Если уставка $\delta_{ср}$ оказывается меньше 35°, то реле *4КС* будет иметь значительную погрешность. Тогда принимаем $\delta_{ср} = 35°$ и по (5-158) определяем новое, большее значение $t_{ср1}$.

Предельное скольжение учитывая, что

$$\frac{1}{T_б}=s\frac{f_н}{100},$$

можно определить по выражению

$$s_{пр}=100\frac{\delta_{вкл}-\delta_{ср}}{360t_{в.В}f_н}. \qquad (5\text{-}159)$$

Рассмотрим на примере порядок предельного скольжения для данной схемы.

Пусть $\delta_{вкл}=50°$; $t_{в.В}=0{,}5$ *сек*; $t_{ср1}=2$ *сек* [определено по (5-155)], тогда по (5-158) $\delta_{ср}=35°$; $\delta_в=30°$ и по (5-159) $s_{пр}=0{,}17\%$, т. е. $f_б=0{,}1$ *гц*.

Еще раз подчеркнем, что схема АПВОС не предназначена для использования при значительных скольжениях.

Для схемы рис. 11-15

Выдержка времени реле *2В* определяется по (5-154) или (5-155). Время $t_в$ (контур *R*, *C*) по (5-149) и (5-150); $\delta_{вкл}$, так же как в предыдущей схеме, принимается равным 45—55°.

Выбор $t_{ср}$ реле *1В* производится, исходя из соотношения (рис. 11-15,*б*)

$$\frac{\delta_{вкл}+\delta_2}{t_{в.В}}=\frac{\delta_1-\delta_2}{t_{ср}};$$

тогда

$$t_{ср}=\frac{(\delta_1-\delta_2)t_{в.В}}{\delta_{вкл}+\delta_2}, \qquad (5\text{-}160)$$

где δ_1 и δ_2 неизвестны.

Выбор последних определяется следующим. С точки зрения минимальной погрешности реле *1Н* и *2Н* желательно принять δ_1 и δ_2, равными 60 и 30° соответственно, но тогда уставка $t_{ср}$ может оказаться очень малой, что снизит точность работы устройства. Поэтому обычно увеличивают δ_1 до 90°.

Предельное скольжение определяется по формуле

$$s_{пр}=100\frac{\delta_{вкл}+\delta_2}{360t_{в.В}f_н}, \qquad (5\text{-}161)$$

выведенной аналогично (5-159).

Рассмотрим на примере порядок предельного скольжения для данной схемы.

Пусть $\delta_{вкл}=50°$; $t_{в.В}=0{,}5$ *сек*. Принимая $\delta_1=90°$ и $\delta_2=30°$, по (5-161) получим $s_{пр}=0{,}9\%$, а $f_б=0{,}45$ *гц*; при этом по (5-160) $t_{ср}=0{,}38$ *сек*.

з) Выбор уставок ТАПВ с улавливанием синхронизма (ТАПВУС)

Расчетная проверка допустимости АПВУС производится так же, как в случае БАПВ. Обычно при АПВУС, как и при АПВОС, $\delta_{вкл}$ принимается равным 45—55° без специальной проверки. Однако в ряде случаев для повышения эффективности АПВУС принимают бо́льшие значения $\delta_{вкл}$ ($\delta_{вкл}\approx\delta_{доп}$). В этом случае необходимо проверять $\delta_{доп}$ расчетом тока несинхронного включения, а для систем, где преобладают гидрогенераторы,— и расчетом динамической устойчивости.

Ниже приводится выбор уставок для схемы, изображенной на рис. 11-16.

Выбор выдержки времени реле *4В* производится по (5-154) или (5-155), а $t_в$ (реле *3В*) — по (5-149) и (5-150).

При выборе уставок контактов *1В-3*, *2В-2* и *2В-3* известным можно считать время включения выключателя $t_{в.в}$ (с учетом времени действия реле *1П* схемы АПВ) и уставки реле *1КС* и *2КС*, которые принимаются равными 45°.

Тогда, пользуясь рис. 11-16,*б*, можем составить соотношения, связывающие уставки реле с $t_{в.в}$.

Для проскальзывающего контакта реле *1В*

$$\frac{2\cdot 135}{t_{1B\text{-}3}}=\frac{\delta_{оп1}}{t_{в.В}},$$

где $\delta_{оп1} = 225°$—первый угол опережения.

Это соотношение справедливо для случая включения выключателя при $\delta_{вкл}=0$. Но, как уже было сказано в схемах АПВУС, $\delta_{вкл}$ принимается равным 45—55°. Поскольку данная схема по своему принципу обеспечивает включение при значительных скольжениях и учитывая возможные погрешности при регулировке реле, принимают сравнительно небольшой угол включения, равный 45°.

Тогда для момента замыкания контакта *1В-3*

$$\frac{270}{t'_{1B\text{-}3}}=\frac{225+45}{t_{в.В}};\quad t'_{1B\text{-}3}=t_{в.В},$$

при этом $\delta_{вкл}=+45°$;

для момента размыкания контакта *1В-3*

$$\frac{270}{t''_{1B\text{-}3}}=\frac{225-45}{t_{в.В}};\quad t''_{1B\text{-}3}=1{,}5t_{в.В},$$

при этом $\delta_{вкл}=-45°$.

Для проскальзывающего контакта реле 2*В* получим аналогично:

$$\frac{180}{t_{2B\text{-}2}}=\frac{\delta_{оп2}}{t_{в.В}};\quad \delta_{оп2}=135°;\quad \delta_{вкл}=0;$$

$$t'_{2B\text{-}2}=t_{в.В};\quad \delta_{вкл}=+45°;$$

$$t''_{2B\text{-}2}=2t_{в.В};\quad \delta_{вкл}=-45°.$$

Для упорного контакта реле *2В*

$$\frac{270}{t_{2В\text{-}3}} = \frac{\delta_{оп3}}{t_{в.В}};\ \delta_{оп3} = 45°;\ \delta_{вкл} = 0;$$

$$\frac{270}{t_{2В\text{-}3}} = \frac{45 + 45}{t_{в.В}};\ t_{2В\text{-}3} = 3t_{вВ};\ \delta_{вкл} = +45°.$$

Предельное скольжение определяется по выражению

$$s_{пр} = 100\,\frac{\delta_{оп} \pm \delta_{вкл}}{360 t_{в.В} f_п}, \qquad (5\text{-}162)$$

полученному из соотношения

$$\frac{\delta_{оп1} \pm \delta_{вкл}}{t_{в.В}} = \frac{360}{T_б}.$$

Рассмотрим на примере порядок предельного скольжения для данной схемы.

Пусть $\delta_{вкл} = \pm 45°$, а $t_{в.В} = 0{,}5$ *сек*. Тогда $s_{пр} = 0{,}011\,(\delta_{оп} \pm 45°)\,\%$. Следовательно, максимальное значение $s_{пр} = 0{,}011\,(225 + 45)\,\% = 3\%$, а $f_б = 1{,}5$ *гц*.

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

6-1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТРАНСФОРМАТОРАХ ТОКА

а) Векторная диаграмма и соотношения основных величин

Наиболее важные соотношения, характеризующие работу трансформаторов тока, установлены, исходя из схемы замещения и векторной диаграммы.

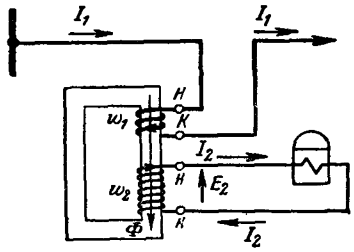


Рис. 6-1. Принципиальная схема трансформатора тока.

На рис. 6-1 нанесены положительные направления токов, э. д. с. и магнитного потока. Схема замещения (рис. 6-2) составлена в соответствии со схемой рис. 6-1. Условные обозначения приняты следующие:

I_1 — первичный ток;
$I_{1н}$ — номинальный первичный ток;
I_2 — вторичный ток;

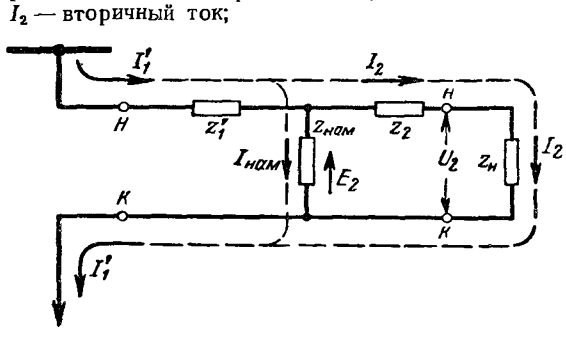


Рис. 6-2. Схема замещения трансформатора тока.

$I_{2н}$ — номинальный вторичный ток;
E_2 — э. д. с. вторичной обмотки;
U_2 — напряжение на зажимах вторичной обмотки;
F — н. с.;
Ф — магнитный поток;
B — магнитная индукция;
w_1 — число витков первичной обмотки;
w_2 — число витков вторичной обмотки;
$n_т$ — коэффициент трансформации, $n_т = \frac{I_{1н}}{I_{2н}} \approx \frac{w_2}{w_1}$;
I'_1 — первичный ток, приведенный ко вторичной обмотке, $I'_1 = \frac{I_1}{n_т}$;
$I'_{нам}$ — ток намагничивания, приведенный к вторичной обмотке, $I'_{нам} = \frac{I_{нам}}{n_т}$;
z'_1 — полное сопротивление первичной обмотки, приведенное к вторичной обмотке;
z_2 — полное сопротивление вторичной обмотки, $Z_2 = r_2 + jx_2$;
$z_н$ — сопротивление вторичной нагрузки трансформатора тока;
$z_{н.н}$ — сопротивление номинальной вторичной нагрузки;
$z_{нам}$ — полное сопротивление ветви намагничивания;
r — активное сопротивление;
x — реактивное сопротивление;
γ — угол потерь в стали сердечника;
α — угол полного сопротивления вторичной цепи, включая сопротивление вторичной обмотки трансформатора тока;
δ — угловая погрешность;
$f\%$ — погрешность по току.

При построении векторной диаграммы (рис. 6-3) за исходный принят вектор вторичного тока I_2. Вектор напряжения U_2 на диаграмме опережает вектор вторичного тока I_2 на угол полного сопротивления вторичной нагрузки $Z_н$:

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2 (r_н + jx_н). \qquad (6\text{-}1)$$

Электродвижущая сила вторичной обмотки E_2 отличается от U_2 за счет падения напряжения в активн о-

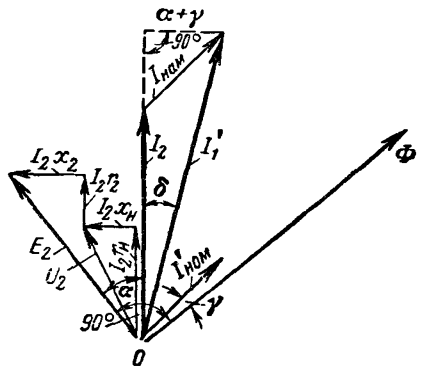


Рис. 6-3. Векторная диаграмма трансформатора тока.

и реактивном сопротивлениях вторичной обмотки от тока I_2:

$$\dot{E}_2 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2(r_2 + jx_2). \quad (6\text{-}2)$$

Абсолютная величина э. д. с. равна:

$$E_2 = I_2\sqrt{(r_н + r_2)^2 + (x_н + x_2)^2}. \quad (6\text{-}3)$$

Вектор магнитного потока на диаграмме должен отставать на 90° от вектора наведенной им э. д. с. E_2, так как вектор E_2 соответствует принятым на рис. 6-1 положительным направлениям токов I_1 и I_2, противоположным в витках первичной и вторичной обмоток. Магнитный поток Ф связан с э. д. с. E_2 соотношением

$$\Phi = \frac{E_2 \cdot 10^8}{4{,}44 f w_2}. \quad (6\text{-}4)$$

Соответственно магнитная индукция в стали сердечника

$$B = \frac{\Phi}{s}, \quad (6\text{-}5)$$

где s — площадь поперечного сечения стали сердечника трансформатора тока.

Магнитный поток Ф создается н. с. F, зависящей от характеристики намагничивания стали сердечника:

$$F = f(\Phi)$$

или

$$F = f(B). \quad (6\text{-}6)$$

Намагничивающая сила F выражается в ампер-витках:

$$F = I_{нам} w_1$$

или

$$F = I'_{нам} w_2. \quad (6\text{-}7)$$

На векторной диаграмме ток намагничивания $I'_{нам}$ опережает создаваемый им магнитный поток Ф на угол γ, величина которого зависит от активных потерь в стали сердечника и может быть определена по экспериментальным кривым $\gamma = f(B)$. Вектор приведенного первичного тока I'_1 на диаграмме получен как сумма векторов вторичного тока и тока намагничивания:

$$\dot{I}'_1 = \dot{I}_2 + \dot{I}'_{нам}. \quad (6\text{-}8)$$

б) Погрешности трансформаторов тока

б) Погрешности трансформатора тока обусловлены наличием тока намагничивания $I'_{нам}$, вследствие чего

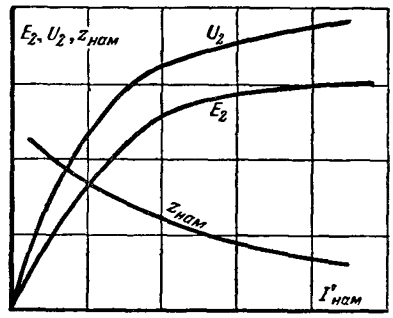


Рис. 6-4. Основные характеристики трансформаторов тока.

вектор вторичного тока I_2 отличается от вектора первичного тока I'_1.

Погрешность по току выражается формулой

$$f\% = \frac{I'_1 - I_2}{I'_1} \cdot 100. \quad (6\text{-}9)$$

Под угловой погрешностью понимается угол δ между векторами токов I_2 и I'_1. Согласно векторной диаграмме (рис. 6-3)

$$\sin\delta \approx \frac{I'_{нам}\cos(\alpha + \gamma)}{I'_1}. \quad (6\text{-}10)$$

Положительной угловой погрешностью считается такая, когда вектор I_2 опережает вектор I'_1. Величина погрешностей зависит от соотношения величин сопротивлений $z'_{нам}$ и $z_н$. При увеличении сопротивления нагрузки погрешности возрастают, так как увеличивается ток $I'_{нам}$. Поэтому заводами-изготовителями задается величина номинальной вторичной нагрузки $z_{2н}$, при которой погрешности трансформатора тока не выходят за пределы величин, установленных ГОСТ для соответствующего класса точности. Если величина номинальной вторичной нагрузки задана в вольт-амперах ($S_н$), то ей соответствует $z_{2н} = \frac{S_н}{I^2_{2н}}$.

в) Характеристики намагничивания и вольт-амперные характеристики трансформаторов тока

Характеристика намагничивания представляет собой зависимость н. с. F от магнитной индукции B. Согласно (6-4), (6-5) и (6-7) выражение (6-6) можно преобразовать в следующее:

$$E_2 = f(I'_{нам}). \quad (6\text{-}11)$$

Такая характеристика намагничивания значительно удобнее для практических целей. Пример такой характеристики показан на рис. 6-4. Типовые характеристики намагничивания обычно строятся на основании усредненных результатов специальных испытаний трансформаторной стали на заводах-изготовителях.

В практике эксплуатации релейной защиты для оценки исправности трансформаторов тока и анализа их работы часто пользуются вольт-амперными характеристиками

$$U_2 = f(I'_{нам}). \quad (6\text{-}12)$$

Эта характеристика снимается при подаче регулируемого синусоидального напряжения на зажимы вторичной обмотки при разомкнутой первичной обмотке. Так как при этом U_2 больше E_2 за счет падения напряжения в сопротивлении z_2 от тока намагничивания $I'_{нам}$, вольт-амперная характеристика располагается выше характеристики намагничивания (рис. 6-4). Характеристика намагничивания может быть построена по нескольким точкам вольт-амперной характеристики. При этом величина E_2 для каждого значения $I'_{нам}$ определяется по выражению

$$E_2 = U_2 - I_{нам} z_2. \qquad (6\text{-}13)$$

Для упрощения эта разность берется арифметической, что дает запас при расчетах погрешностей трансформаторов тока.

Характеристикам намагничивания, полученным указанным способом, следует оказывать предпочтение перед типовыми, поскольку за счет допускаемой согласно ГОСТ 7746-55 неидентичности стали, применяемой для сердечников, возможны отклонения фактической характеристики от типовой до 20%.

г) Десятипроцентная погрешность трансформаторов тока

Критерием пригодности трансформаторов тока для релейной защиты является 10%-ная погрешность при максимальном значении тока короткого замыкания.

Условию 10%-ной погрешности трансформатора тока соответствует его работа с током намагничивания, равным 10% величины первичного тока. При этом его максимальная погрешность по току составит $f\% = 10\%$, когда $\alpha + \gamma = 90°$ (рис. 6-3), т. е. при $\delta = 0$, а максимальная угловая погрешность при любых других возможных значениях $\alpha + \gamma$ не превысит допускаемой требованиями релейной защиты величины $\delta = 7°$.

Таким образом, при работе трансформатора тока в пределах 10%-ной погрешности его погрешности по току и по углу не превышают 10% и 7°. В действительных условиях обычно при работе трансформатора тока с 10%-ной погрешностью

$$f\% < 10\% \text{ и } \delta < 7°.$$

Так как при работе трансформатора тока с 10%-ной погрешностью разным величинам сопротивления вторичной нагрузки $z_н$ соответствуют определенные значения первичного тока, для оценки пригодности трансформаторов тока для релейной защиты в конкретных условиях применяются кривые 10%-ных погрешностей. Кривая 10%-ных погрешностей представляет собой зависимость кратности первичного тока m от величины сопротивления внешней вторичной нагрузки:

$$m = \frac{I_1}{I_{1н}} = f(z_н). \qquad (6\text{-}14)$$

Любая точка на этой кривой соответствует работе трансформатора тока с 10%-ной погрешностью. Кривые 10%-ных погрешностей для наиболее распространенных типов трансформаторов тока приведены в § 6-4. При использовании кривых 10%-ной погрешности необходимо иметь в виду, что они обычно строятся по типовым характеристикам намагничивания, которые могут иметь отличие от фактических, что особенно важно учитывать при работе трансформаторов тока в области насыщения их сердечников (начиная от кратности первичного тока 4—5 и выше).

Для каждого трансформатора тока заводами-изготовителями указывается так называемая 10%-ная кратность, которой соответствует 10%-ная погрешность при определенной заданной вторичной нагрузке.

Работа измерительных трансформаторов тока при больших значениях первичного тока характеризуется также кратностью насыщения, представляющей кратность $I_1/I_{1н}$, при которой $f\% = 10\%$ при номинальной вторичной нагрузке $z_{2н}$, имеющей коэффициент мощности $\cos\varphi = 0{,}8$.

д) Максимальная кратность вторичного тока трансформатора тока

Максимальная кратность вторичного тока $n = \frac{I_{2макс}}{I_{2н}}$ характеризует наибольшую величину вторичного тока при $z_н = z_{н.н}$ и первичном токе, соответствующем гарантируемой заводом-изготовителем устойчивости трансформатора тока к токам короткого замыкания. При вторичной нагрузке $z_{нх}$, отличающейся от $z_{н.н}$, максимальная кратность вторичного тока может быть подсчитана по формуле

$$n_x = n \frac{z_2 + z_{н.к}}{z_2 + z_{нх}}. \qquad (6\text{-}15)$$

6-2. РАСЧЕТНАЯ ПРОВЕРКА ПРИГОДНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА ДЛЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

а) Общие требования

К работе трансформаторов тока предъявляются различные требования, зависящие от видов подключенных к ним устройств релейной защиты. Для ряда видов релейной защиты (дифференциальные, дистанционные, направленные и др.) трансформаторы тока до определенных значений первичного тока должны удовлетворять 10%-ной погрешности. Трансформаторы тока, используемые для питания защиты переменным оперативным током, для устройства компаундирования и для других устройств, не требующих точной трансформации тока, могут работать с погрешностью больше 10%-ной, и их обычно достаточно проверять на обеспечение необходимой для надежного действия этих устройств величины вторичного тока при определенном значении первичного тока.

Трансформаторы тока, работающие с погрешностью, превышающей 10%-ную, при наличии в их вторичных цепях токовых реле типа ЭТ-520 не должны иметь погрешность выше 50%-ной при токе I_2, большем $3{,}5 I_{р.уст}$, во избежание возникновения неустранимой вибрации реле, возникающей вследствие искажения формы кривой вторичного тока. При расчетной проверке трансформаторов тока в условиях эксплуатации необходимо:

1) при расчетах по типовым характеристикам намагничивания перестраивать их с понижением на 20%, как это показано на рис. 6-5;

2) при расчетах по кривым 10%-ной погрешности вводить коэффициент d, равный 0,8, учитывающий возможность отклонения приведенных в кривых кратностей тока от действительно допустимых на 20%.

При предварительном проектном выборе трансформаторов тока и сечения проводов и кабелей в их

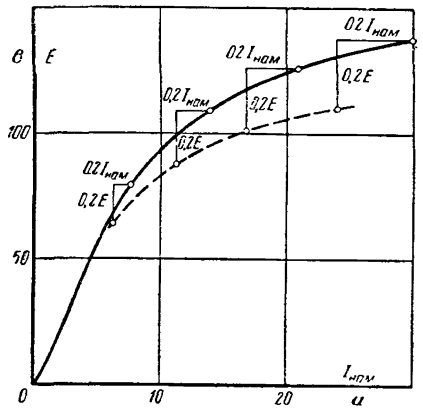


Рис. 6-5. Графическое построение пониженной на 20% характеристики намагничивания трансформатора тока.

вторичных цепях также следует производить перестройку типовых характеристик, и при применении кривых 10%-ных погрешностей принимать коэффициент $d=0{,}8$.

б) Определение нагрузки на вторичную обмотку трансформатора тока

Внешняя нагрузка на вторичную обмотку трансформатора тока складывается из сопротивлений проводов и кабелей, реле и приборов и переходных сопротивлений в контактных соединениях.

Расчетное определение сопротивлений нагрузки выполняется поэлементно:

1. Сопротивление проводов и кабелей определяется по формуле

$$r_{пр}=\frac{l}{\gamma s}, \qquad (6\text{-}16)$$

где $r_{пр}$ — сопротивление провода (жилы кабеля), *ом*;
l — длина провода (кабеля), *м*;
γ — удельная проводимость, *м/ом·мм²*;
s — сечение провода или жилы кабеля, *мм²*.

2. Сопротивление реле и приборов

$$z_р=\frac{S}{I^2_{ном}} \qquad (6\text{-}17)$$

где $z_р$ — полное сопротивление реле (прибора), *ом*;
S — потребление реле (прибора), *ва*;
$I_{ном}$ — номинальный ток реле (прибора), *а*.

3. Переходное сопротивление контактов принимается равным 0,05 *ом* для всей вторичной цепи трансформатора тока.

Суммирование всех сопротивлений производится арифметически. Это упрощает расчет, а небольшая неточность дает дополнительный запас. Нагрузка трансформаторов тока зависит от схемы их соединения и вида короткого замыкания. Действительная нагрузка трансформатора тока

$$z_н=\frac{U_2}{I_2}. \qquad (6\text{-}18)$$

Расчетные выражения для подсчета вторичной нагрузки трансформаторов тока для наиболее распространенных схем вторичных токовых цепей и для разных видов коротких замыканий приведены в табл. 6-1.

в) Выбор расчетного вида повреждения и определение расчетного первичного тока

Расчетный вид повреждения выбирается таким, при котором имеет место наибольшая погрешность трансформаторов тока. При этом следует иметь в виду, что в ряде случаев, несмотря на меньшую величину тока однофазного короткого замыкания, погрешность при этом виде повреждения может быть больше за счет большей величины нагрузки.

Расчетный первичный ток, при котором производится проверка трансформаторов тока, принимается равным:

$$I_{1\,расч}=nI_{1\,макс}, \qquad (6\text{-}19)$$

где $I_{1\,макс}$ — максимальное значение тока, проходящего через трансформатор тока;
n — коэффициент, учитывающий неточность расчетов и влияние апериодической составляющей тока короткого замыкания на работу трансформатора тока.

Величины $I_{1\,макс}$ и n выбираются соответственно типу и исполнению устройств по табл. 6-2.

г) Проверка трансформаторов тока на 10%-ную погрешность

Для проверки необходимо определить нагрузку на вторичную обмотку трансформатора тока согласно § 6-2,б и табл. 6-1 и расчетный первичный ток согласно § 6-2,в.

Проверка по вольт-амперным характеристикам или по характеристикам намагничивания

Проверка производится при условии $\alpha+\gamma=90°$, соответствующем совпадению по фазе токов I'_1, I_2 и $I'_{нам}$. Для расчета должна быть использована наиболее низкая вольт-амперная характеристика из проверяемого комплекта трансформаторов тока.

При расчете по типовой характеристике намагничивания необходимо учитывать рекомендации, приведенные в § 6-2,а. Ниже приведены два способа расчетной оценки пригодности трансформаторов тока:

1. Определение допустимой величины вторичной нагрузки $z_{н.доп}$.

Расчетный ток $I'_{1\,расч}$ приводится к вторичной обмотке:

$$I'_{1расч}=\frac{I_{1расч}}{n_т}.$$

Определяется ток намагничивания по условию 10%-ной погрешности:

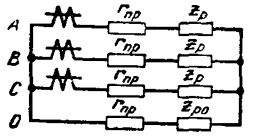
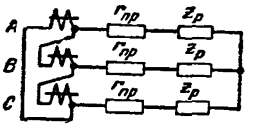
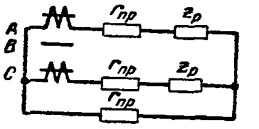
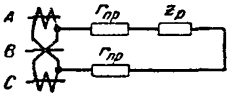
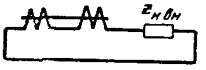
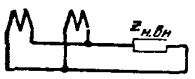
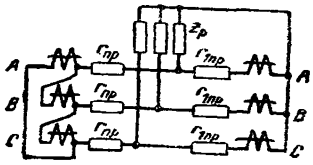
$$I'_{пам}=0{,}1I'_{1расч}. \qquad (6\text{-}20)$$

По вольт-амперной характеристике или характеристике намагничивания определяется соответственно U_2 или E_2 и подсчитывается величина допустимой вторичной нагрузки:

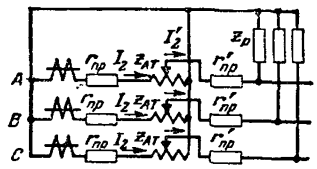
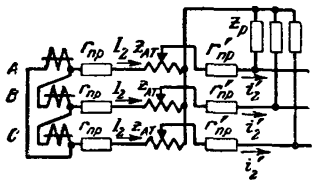
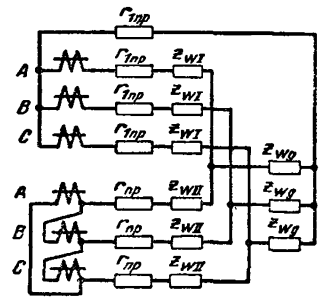
$$z_{н.доп}=\frac{U_2-I'_{1расч}z_2}{0{,}9I'_{1расч}} \qquad (6\text{-}21а)$$

Таблица 6-1

Расчетные формулы для определения вторичной нагрузки трансформаторов тока

№ п/п.	Схема соединения трансформаторов тока и нагрузки	Вид короткого замыкания	Внешняя нагрузка на выводах вторичной обмотки трансформаторов тока
1		Трехфазное и двухфазное	$z_н = r_{пр} + z_р + r_{пер}$
		Однофазное	$z_н = 2r_{пр} + z_р + z_{ро} + r_{пер}$
2		Трехфазное и двухфазное Двухфазное за трансформатором Y/Δ	$z_н = 3(r_{пр} + z_р) + r_{пер}$
		Однофазное	$z_н = 2(r_{пр} + z_р) + r_{пер}$
3		Трехфазное	$z_н = \sqrt{3}\, r_{пр} + z_р + r_{пер}$
		Двухфазное (*AB* или *BC*) и однофазное	$z_н = 2r_{пр} + z_р + r_{пер}$
		Двухфазное за трансформатором Y/Δ	$z_{нA} = 3r_{пр} + z_р + r_{пер.}$ (при $\dot{I}_A = \dot{I}_C$)
4		Трехфазное	$z_н = \sqrt{3}\,(2r_{пр} + z_р) + r_{пер}$
		Двухфазное *AC*	$z_н = 4r_{пр} + 2z_р + r_{пер}$
		Однофазное и двухфазное *AB* и *BC*	$z_н = 2r_{пр} + z_р + r_{пер}$
5			$z_н = 0{,}5z_{н.вп}$ $z_{н.вп}$ — нагрузка, подсчитанная согласно выражениям по пп. 1—4
6			$z_н = 2z_{н.вн}$ $z_{н.вн}$ — то же, что и в п. 5
7		Трехфазное и двухфазное	$z_{нY} = r_{1пр} + r_{пер}$ $z_{нΔ} = 3r_{пр} + r_{пер}$

Продолжение табл. 6-1

№ п/п.	Схема соединения трансформаторов тока и нагрузки	Вид короткого замыкания	Внешняя нагрузка на выводах вторичной обмотки трансформаторов тока
8		Трехфазное и двухфазное	$z_н = r_{пр} + z_{АТ} + \frac{r'_{пр}}{n^2_{АТ}} + r_{пер}$ $n_{АТ} = \frac{i_2}{I'_2}$ — коэффициент трансформации автотрансформатора
9		Трехфазное и двухфазное	$z_н = 3\left(r_{пр} + z_{АТ} + \frac{r'_{пр}}{n^2_{АТ}}\right) + r_{пер}$ $n_{АТ}$ — см. п. 8
10		Трехфазное и двухфазное	$z_{нY} = r_{1пр} + z_{wI} + k_1 z_{wд} + r_{пер}$ $z_{н\Delta} = 3(r_{пр} + z_{wII} + k_2 z_{wд}) + r_{пер}$ Если $w_I > w_{II}$, то $k_1 = \frac{w_I - w_{II}}{w_{II} + w_д}$ и $k_2 = \frac{w_I - w_{II}}{w_I + w_д}$ Если $w_I < w_{II}$, то $k_1 = \frac{w_{II} - w_I}{w_{II} + w_д}$ и $k_2 = \frac{w_{II} - w_I}{w_I + w_д}$

или

$$z_{н.доп} = \frac{E_2 - 0{,}9I'_{1расч}z_2}{0{,}9I'_{1расч}}. \qquad (6\text{-}21б)$$

Если $z_{н.доп} \geqslant z_н$, подсчитанной согласно табл. 6-1, то трансформатор тока удовлетворяет требованиям 10%-ной погрешности.

Задаваясь разными значениями $I'_{1расч}$, можно построить кривую 10%-ных погрешностей.

2. Определение допустимой максимальной величины первичного тока.

На вольт-амперной характеристике или на характеристике намагничивания производится построение прямой падения напряжения во вторичной цепи:

$$U_2 = 10I'_{нам}(z_2 + 0{,}9z_н) \qquad (6\text{-}22)$$

или

$$E_2 = 9I'_{нам}(z_2 + z_н). \qquad (6\text{-}23)$$

По точке пересечения построенной прямой с характеристикой (рис. 6-6) находят ток $I'_{нам}$, соответствующий 10%-ной погрешности.

Допустимый первичный ток

$$I_{1доп} = n_т \cdot 10I'_{нам}. \qquad (6\text{-}24)$$

Таблица 6-2

Определение величин $I_{1макс}$ и n для защит различных типов

Виды защит	$I_{макс}$	Время действия защиты, *сек*	n
Максимальная токовая с независимой характеристикой и токовая отсечка	$1{,}1\,I_{1уст}$	Любое	1,2—1,3
Максимальная токовая с зависимой характеристикой	Максимальное значение $I_{к.з}$, при котором производится согласование характеристик по времени		
Любые направленные защиты	$I_{к.з.макс}$ в конце I зоны или в конце защищаемого участка	$t_{ср}>0{,}5$ $t_{ср}\leqslant 0{,}5$	1,2—1,3 1,8—2
Дифференциальные защиты с БНТ	$I_{к.з.макс}$ при к. з. вне зоны защиты	$t_{ср}\leqslant 0{,}5$	1,2—1,3
Дифференциальные защиты без БНТ		$t_{ср}\leqslant 0{,}5$ $t_{ср}>0{,}5$	1,8—2 1,4—1,5
Дифференциально-фазная в. ч. защита	$I_{к.з.макс}$ в месте установки защиты	$t_{ср}<0{,}15$	1,6—1,8
Ненаправленная дистанционная защита, не блокируемая при замыканиях на землю	$I_{к.з.макс}$ в конце I зоны	$t_{ср}>0{,}5$ $t_{ср}\leqslant 0{,}5$	1,2—1,3 1,4—1,5
Ненаправленная дистанционная защита с блокировкой при замыканиях на землю	$I_{к.з.макс}$ в месте установки*	$t_{ср}>0{,}5$ $t_{ср}\leqslant 0{,}5$	1,2—1,3 1,4—1,5
Любые устройства, не требующие точной трансформации тока	$I_{1мин}$, при котором проверяется работа устройства	Любое	1,2—1,3

* Во избежание отказа защиты из-за срабатывания блокировки от токов небаланса.

Если $I_{1\,доп}\geqslant I'_{1\,расч}$, погрешность трансформатора тока не превышает 10%-ной.

Проверка по кривым 10%-ной погрешности

Проверку можно выполнять двумя способами:

1. Определение допустимой величины вторичной нагрузки $z_{н.доп}$.

Подсчитывается кратность m по выражению

$$m=\frac{I_{1\,расч}}{dI_{1н}}. \qquad (6\text{-}25)$$

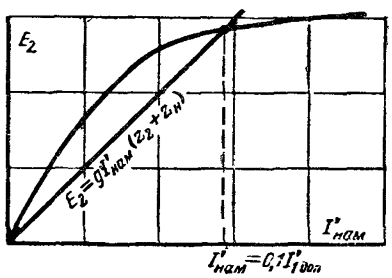


Рис. 6-6. Графическое определение тока намагничивания, соответствующего 10%-ной погрешности.

По кривой 10%-ных погрешностей определяется допустимая внешняя вторичная нагрузка $z_{н.доп}$, соответствующая этой кратности. Если $z_{н.доп}\geqslant z_н$, погрешность трансформатора тока не превышает 10%-ной.

2. Определение допустимой максимальной величины первичного тока.

По известной величине $z_н$ по кривой 10%-ной погрешности определяется кратность первичного тока m и подсчитывается максимальный допустимый ток по выражению

$$I_{1доп}=dmI_{1н}. \qquad (6\text{-}26)$$

При $I_{1доп}\geqslant I_{1расч}$ трансформатор тока отвечает требованиям 10%-ной погрешности.

д) Расчетная проверка пригодности трансформаторов тока для релейной защиты при погрешности выше 10%

Проверка по величине вторичного тока

Проверка производится при $I_{1\,расч}$, соответствующем условию надежности действия устройства. Целью проверки является вычисление величины вторичного тока для оценки надежности работы устройства

Проверка ведется по характеристике $E_2=f(I'_{нам})$ при условии совпадения по фазе токов I'_1, I_2 и $I'_{нам}$. Для проверки необходимо:

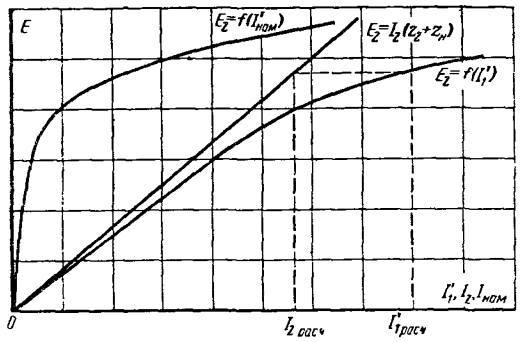


Рис. 6-7. Графическое определение вторичного тока по расчетному значению первичного тока при погрешности трансформатора тока выше 10%-ной.

1) определить $z_н$ трансформатора тока согласно § 6-2,б; по $I_{1расч}$ определить $I'_{расч}=\frac{I_{1расч}}{n_т}$;

2) построить характеристику намагничивания с учетом рекомендаций §§ 6-1,в и 6-2,а;

3) на графике характеристики намагничивания построить прямую

$$E_2'=I_2(z_2+z_н);$$

4) построить на том же графике зависимость $E_2=f(I'_1)$, для чего в нескольких выбранных точках при соответствующем одном значении E_2 определяется I'_1 как сумма токов I_2 (абсцисса построенной прямой) и $I'_{нам}$ (абсцисса характеристики намагничивания;

5) определить вторичный ток $I_{2\,расч}$, соответствующий току $I'_{1\,расч}$, пользуясь кривой $E_2=f(I'_1)$ и прямой $E_2=f(I_2)$, как показано на рис. 6-7.

Проверка на 50%-ную погрешность

При работе трансформаторов тока с погрешностью выше 50% возникает искажение формы кривой вторичного тока, которое может вызвать неустранимую вибрацию токовых реле типа ЭТ-520 при кратности тока $\frac{I_р}{I_{р.уст}}\geqslant 3{,}5$. Поэтому трансформаторы тока, во вторичные цепи которых включены реле ЭТ-520, должны проверяться на 50%-ную погрешность. Проверка выполняется при выбранном на основе многочисленных опытов условии $\alpha+\gamma=30°$, чему соответствует угол 60° между токами I_2 и $I'_{нам}$. Проверка производится по характеристике намагничивания и заключается в расчете величины $z_{н.доп}$. При этом ток намагничивания подсчитывается по выражению

$$I'_{нам}=0{,}5I'_{1расч}. \qquad (6\text{-}27)$$

Величина допустимой нагрузки определяется выражением

$$z_{н.доп}=\frac{E_2-0{,}65I_{1расч}z_2}{0{,}65I'_{1расч}}. \qquad (6\text{-}28)$$

6-3. РАСЧЕТ ТОКОВ НЕБАЛАНСА В РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ СОЕДИНЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

а) Ток небаланса в дифференциальных схемах

Расчет производится для максимального значения тока короткого замыкания вне зоны действия защиты. Принцип расчета заключается в определении величин вторичных токов в каждом плече дифференциальной защиты путем построения зависимости $I_2=f(I'_1)$ для каждого плеча. Для упрощения расчета предполагается совпадение по фазе токов I'_1, I_2, $I'_{нам}$ у каждого трансформатора тока. Расчет выполняется по характеристикам $E_2=f(I'_{нам})$, построенным по вольт-амперным характеристикам. При этом для каждого плеча берется самая низкая характеристика из трех фаз. При применении типовых характеристик необходимо учитывать рекомендации § 6-2,а.

Порядок расчета

1. Определяется нагрузка вторичных обмоток трансформаторов тока каждого плеча согласно § 6-2,б и расчетный первичный ток согласно § 6-2,в.

2. Для построения зависимости $I_2=f(I'_1)$ задаются несколькими значениями I_2 и подсчитывают соответствующие им величины э. д. с. E_2 по выражению

$$E_2=I_2(z_2+z_н).$$

Для каждого из полученных значений E_2 по характеристике намагничивания определяют $I'_{нам}$ и, складывая его с I_2, получают ток I'_1. Затем по величинам I'_1 и I_2 для каждой точки строят зависимость $I_2=f(I'_1)$. Это построение может быть выполнено графически, как показано на рис. 6-8.

3. По величинам тока короткого замыкания для каждого плеча определяют $I'_{1расч}=\frac{I_{2расч}}{n_т}$ и, пользуясь кривыми $I_2=f(I'_1)$, находят вторичные токи $I_{2расч}$ трансформаторов тока.

4. Подсчитывают токи $I_{2п}$ в каждом плече схемы перед дифференциальным реле с учетом схемы соединений трансформаторов тока и наличия автотрансформаторов:

$$I_{2п}=k_{сх}n_{ат}I_2, \qquad (6\text{-}29)$$

где $k_{сх}$ — коэффициент схемы.

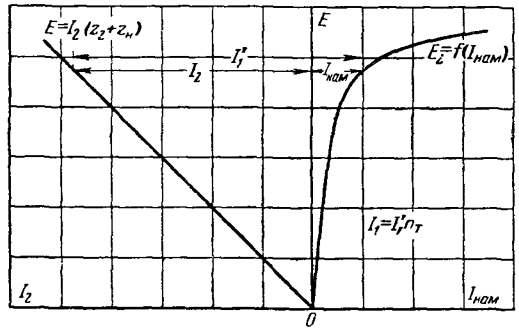


Рис. 6-8. Графическое построение зависимости вторичного тока от первичного $I_2=f(I'_1)$.

При соединении трансформаторов тока в треугольник $k_{сх}=\sqrt{3}$. При соединении трансформаторов тока в звезду $k_{сх}=1$. $n_{ат}$ — коэффициент трансформации автотрансформатора. При отсутствии автотрансформатора $n_{ат}=1$.

5. Ток небаланса равен:

$$I_{нб}=\pm I'_{2п}\pm I''_{2п}\pm I'''_{2п}\pm I^{IV}_{2п}. \qquad (6\text{-}30)$$

Знаки плюс и минус перед вторичными токами $I_{2п}$ должны соответствовать направлению первичных токов в плечах схемы. При направлении первичного тока в зону защиты для соответствующего тока $I_{2п}$ берется знак плюс. При направлении первичного тока из зоны защиты соответствующий ток $I_{2п}$ имеет знак минус.

В ряде случаев для расчета токов небаланса может быть применен упрощенный метод, основанный на том, что ток небаланса представляет собой разность токов намагничивания. Исходя из этого, ток небаланса считают равным току намагничивания трансформатора тока одного плеча, где $I'_{нам}$ — максимальный, и предполагая токи намагничивания в других плечах равными нулю. Ток намагничивания $I'_{нам}$ определяется из характеристики $E_2=f(I_{нам})$ по величине

$$E_2=\frac{I_{1расч}}{n_т}(z_2+z_н).$$

Ток небаланса равен:

$$I_{нб}=k_{сх}n_{ат}I'_{нам}. \qquad (6\text{-}31)$$

Этот способ дает завышенные величины $I_{нб}$ и поэтому не всегда применим.

Еще более простой способ, дающий еще более завышенные величины $I_{нб}$, заключается в том, что ток намагничивания считают равным 10% величины $I'_{1\,расч}$ (поскольку трансформаторы тока дифференциальной защиты должны отвечать требованию 10%-ной погрешности). В этом случае

$$I_{нб}=k_{сх}n_{ат}\cdot 0{,}1I'_{1расч}. \qquad (6\text{-}32)$$

б) Ток небаланса в нулевом проводе

При трехфазном коротком замыкании ток небаланса в нулевом проводе представляет собой сумму $I'_{нам}$ трех фаз, и его можно определить по характеристикам $E_2=f(I'_{нам})$. Для расчета используются характеристики двух фаз (наиболее низкая и наиболее высокая). Расчет производится в следующем порядке:

1. При использовании типовых характеристик намагничивания наиболее низкую характеристику получают, понижая типовую на 20%, как это показано на рис. 6-5, а наиболее высокую строят, повышая аналогичным способом типовую характеристику $E_2=f(I'_{нам})$ на 20%.

2. Для каждой из двух характеристик строится согласно рис. 6-7 зависимость $E_2=f(I'_1)$ и определяются токи намагничивания $I_{нам}$ (максимальный $I'_{нам.макс}$ и минимальный $I'_{нам.мин}$) при

$$I'_{1расч}=\frac{I^{(3)}_1 n}{n_т}$$

3. Определяются гармонические составляющие тока намагничивания.[1]

Ток небаланса в нулевом проводе содержит в основном первую и третью гармоники. Ток небаланса первой гармоники подсчитывается по формуле

$$I_{1нб}=0{,}66(I'_{нам.макс}-I'_{нам.мин}). \qquad (6\text{-}33)$$

Ток небаланса третьей гармоники определяется по выражению

$$I_{IIIнб}=0{,}34(I'_{нам.мин}+2I'_{нам.макс}). \qquad (6\text{-}34)$$

4. Определяется полный ток небаланса, как

$$I_{нб}=\sqrt{I^2_{1нб}+I^2_{IIIнб}}. \qquad (6\text{-}35)$$

Если рабочие точки находятся за перегибом характеристики $E_2=f(I'_{нам})$, то при отличии $I'_{нам.макс}$ от $I'_{нам.мин}$ менее чем в 2 раза можно не учитывать составляющую первой гармоники. Тогда $I_{нб}=I_{III\,нб}$ и подсчитывается по (6-34). Если рабочие точки находятся ниже перегиба кривой $E_2=f(I'_{нам})$, то составляющая третьей гармоники ничтожно мала и ее учитывать не нужно. В этом случае

$$I_{нб}=I'_{нам.макс}-I'_{нам.мин}. \qquad (6\text{-}36)$$

В ряде случаев, когда отстройка от токов небаланса большой величины не представляет затруднений, для упрощения можно принимать ток небаланса равным предельно высокому значению:

$$I_{нб}=I'_{нам.макс}. \qquad (6\text{-}37)$$

При этом ток намагничивания находят по характеристике $E_2=f(I'_{нам})$ по величине $E_2=\frac{nI^{(3)}}{n_т}(z_2+z_н)$.

Расчет тока небаланса в нулевом проводе при двухфазном коротком замыкании может быть выполнен по приведенному выше способу расчета тока небаланса в дифференциальных схемах. При этом каждая фаза должна приниматься за плечо дифференциальной защиты.

6-4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ТИПОВ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Общие сведения

Типовые кривые намагничивания (рис. 6-9—6-12) представляют собой зависимость э. д. с. E', наведенной в одном витке при сечении трансформаторной стали 1 $см^2$, от н. с. F на 1 $см$ магнитного пути, выражаемой в удельных ампер-витках ($ав/см$). Величина E' для удобства пользования кривыми выражена в $мв/см^2$ на виток. Для построения типовых характеристик намагничивания для любого сердечника необходимо по нескольким точкам на типовой кривой намагничивания определить соответствующие величины

[1] Воскресенский А. А., Токи небаланса в нулевом проводе трансформаторов тока, «Электрические станции», 1950, № 2.

Воскресенский А. А., О выборе трансформаторов тока по кривым кратностей, «Электрические станции», 1957, № 5.

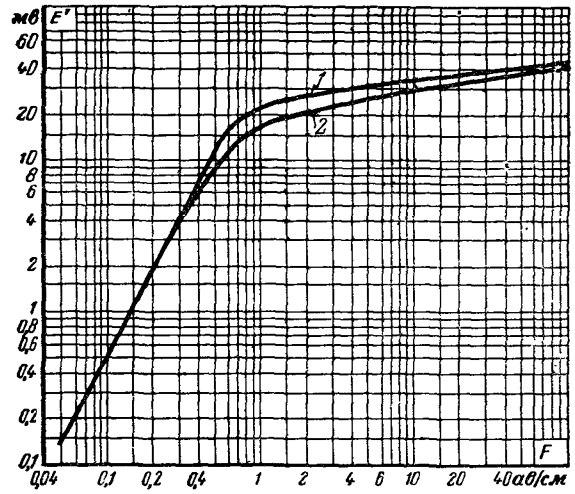


Рис. 6-9. Типовые кривые намагничивания трансформаторной стали для сердечников трансформаторов тока ТПФ-10, ТПФУ-10, ТПФМ-10 класса 0,5, ТФ-10 и ТФУ-10.

1 — сердечники класса Д и 0,5; *2* — сердечники классов 3, 1, 3.

э. д. с. E_2 в вольтах и тока намагничивания $I'_{нам}$ в амперах, пользуясь выражениями:

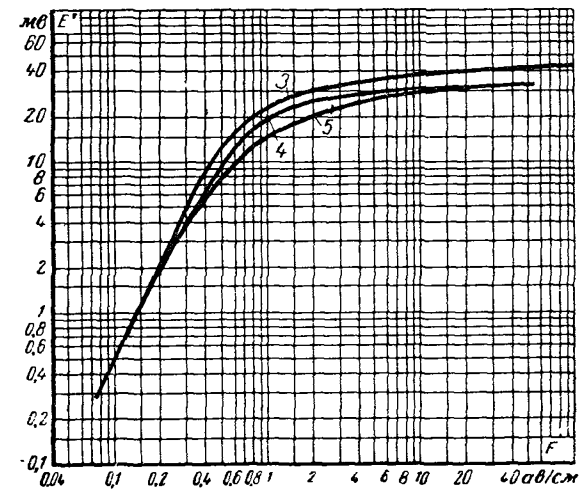
$$E_2 = \frac{E' s w}{1{,}000}; \qquad (6\text{-}38)$$

$$I'_{нам} = F \frac{L}{w}, \qquad (6\text{-}39)$$

где s — сечение стали сердечника, $см^2$;

L — средняя длина пути магнитного потока в сердечнике, $см$;

w — число витков вторичной обмотки.



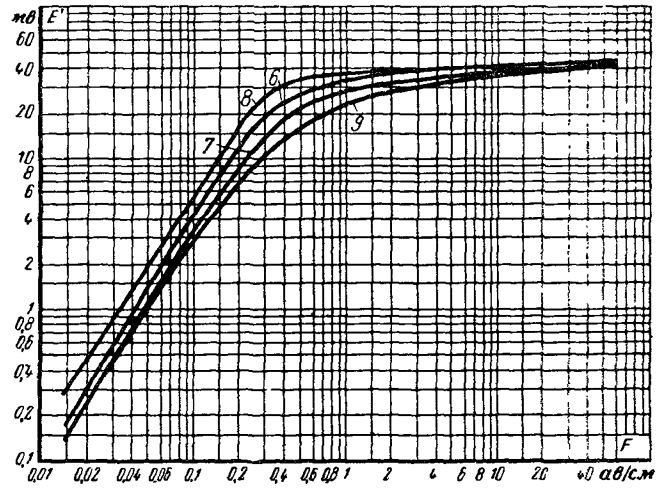


Рис. 6-11. Типовые кривые намагничивания трансформаторной стали для сердечников трансформаторов тока.

6 — сердечники 0,5 ТФН-35, кроме ТФН-35-0,5/3; все сердечники трансформаторов тока ТФНД-110-Д/Д/0,5, ТФНД-154-Д/Д/0,5, ТФНД-220-Д/Д/Д/0,5 и ТФНД-400-Д/Д/Д/0,5; *7* — сердечники ТВ-110, ТВД-110; *8* — сердечники ТВ-35 МКП, ТВД-35 МКП, ТВМ-110, ТВДМ-110, ТВД-220; *9* — сердечники Р и 0,5 трансформаторов тока ТПЛ-10 и ТПОЛ-10.

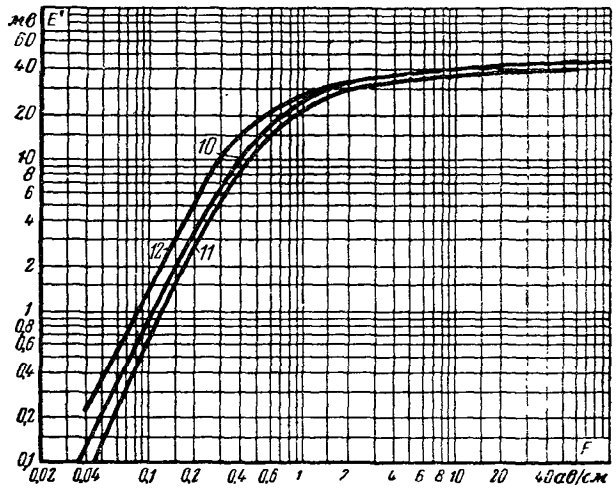


Рис. 6-12. Типовые кривые намагничивания трансформаторной стали для сердечников трансформаторов тока.

10 — сердечники Д и 1 трансформаторов тока ТФНД-110-Д/1; *11* — сердечники класса 1 и 3 ТФН-35 и сердечники ТНД-110; *12* — сердечники ТПФМ-10 классов 1 и 3 сердечники ТВД-35, ТНМ-110 и ТНДМ-110.

Рис. 6-10. Типовые кривые намагничивания трансформаторной стали для сердечников трансформаторов тока ТПОФ-10, ТПШФ-10, ТПШФ-20, ТВ-35, ТМГД-35, ТН-110, ТВ-274 и ТВД-274, для сердечника Д трансформаторов тока ТФН-35 и для сердечника 0,5 ТФН-35-0,5/3.

3 — сердечники Д, ТМГД-35, сердечник Д для ТФН-35 и сердечник 0,5 для ТФН-35-0,5/3; *4* — сердечники 0,5 и 1; *5* — сердечники 3, 3 и ТВ-35, ТН-110, ТВ-274, ТВД-274.

а) Трансформаторы тока ТПФ-10

1. Трансформаторы тока с сердечниками классов Д и З

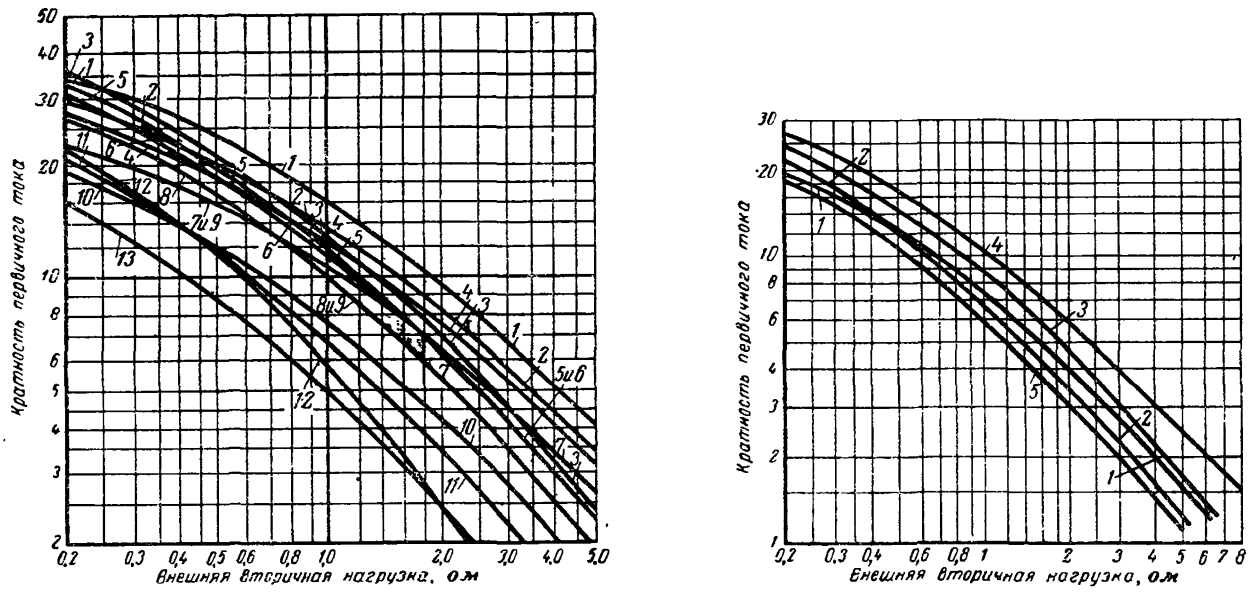
Тип	Варианты исполнения			
ТПФД-10	Д	Д/Д	Д/0,5	Д/З
ТПФЗ-10	З	З/0,5	З/З	—
ТПФЗД-10	З/Д	—	—	—

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	Классы сердечника Д и З				Классы сердечника 0,5 и З				
	W	r	x	z	$w_{0,5}$	$w_з$	r	x	z
75/5	172,5				179	177			
100/5	170				179	177			
150/5	165	0,41	0,41	0,58	179	177	0,3	0,3	0,43
200/5	140				159	157			
300/5	150				179	177			
400/5	120	0,19	0,19	0,27	159	157			

Параметры сердечников

Класс сердечника	Д	З	0,5	З
s, $см^2$	20,4	20,4	10,2	10,2
L, $см$	43	43	43	43
Номер кривой намагничивания на рис. 6-9	1	2	1	2



а) *б)*

Рис. 6-13. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока.
а — ТПФ-10 и ТПФУ-10; *б* — ТПФМ-10.

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-13, *а*, соответствующие разным $n_т$

Класс сердечника	Д и З				0,5		3	
$n_т$	75/5, 100/5, 150/5	200/5	300/5	400/5	75/5, 100/5, 150/5, 300/5	200/5, 400/5	75/5 100/5 150/5, 300/5	200/5 400/5
№ кривой	1	4	2	7	9	10	10	11

2. Трансформаторы тока с сердечниками классов 0,5—3

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	Варианты исполнения							
	0,5; 0,5/0,5; 0,5/3				1; 1/1; 1/3; 3			
	w	*r*	*x*	*z*	*w*	*r*	*x*	*z*
5-7,5-15-30/5	156				120			
10-20-40-200/5	160	0,3	0,3	0,43	120	0,2	0,15	0,25
50-75-100-150-300/5	180				120			
400/5	160				160	0,3	0,3	0,43

Параметры сердечников

Класс сердечника	0,5	1	3
s, *см*^{2}	10,2	10,2	10,2
L, *см*	43	43	43
Номер кривой намагничивания на рис. 6-9	1	2	2

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-13, *а*, соответствующие разным $n_т$

Класс сердечника	0,5		1		3		
Вариант исполнения	Все		Все		0,5/3		1/3,3
$n_т$	5—7,5—10—15—20—30—40/5 200/5 400/5	50—75—100—150/5 300/5	5—7,5—10—15—20—30—40—50—75—100—150—200—300/5	400/5	50—75—100—150/5 300/5	5—7,5—10—15—30—40/5 200/5 400/5	5—7,5—10—15—20—30—40—50—75—100—150—200—300—400/5
№ кривой	10	9	11	10	10	11	10

б) Трансформаторы тока ТПФУ-10

3. Трансформаторы тока с сердечниками классов Д и З

Тип	Варианты исполнения				
ТПФУД-10	Д	Д/Д	Д/0,5	Д/1	Д/3
ТПФУЗ-10	З	З/0,5	З/1	З/3	—
ТПФУЗД-10	З/Д	—	—	—	—

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	Класс сердечника									
	Д и З				0,5, 1 и 3					
	w	r	x	z	$w_{0,5}$	w_1	w_3	r	x	z
75/5	112,5									
100/5	110									
150/5	105	0,19	0,19	0,27	119	118,5	117	0,2	0,15	0,25
200/5	100									
300/5	90									

Параметры сердечников

Класс сердечника	Д	З	0,5	1	3
s, $см^2$	20,4	20,4	10,2	10,2	10,2
L, $см$	43	43	43	43	43
Номер кривой намагничивания на рис. 6-9	1	2	1	2	2

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-13, *а*, соответствующие разным $n_т$

Сердечники	Д и З				0,5; 1; 3
$n_т$	75/5 100/5	150/5	200/5	300/5	75/5; 100/5; 150/5 200/5; 300/5
Номер кривой	3	5	6	8	11

4. Трансформаторы тока с сердечниками классов 0,5—3

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	Варианты исполнения: 0,5; 0,5/0,5; 0,5/1; 0,5/3		Варианты исполнения 1; 1/1; 1/3			Вариант исполнения 3	
	w	r, x, z	w_1	w_3	r, x, z	w	r, x, z
5/5			103,5	102		57,5	
7,5/5			106,5	105		57	
10/5			104,5	103		57	
15/5			103,5	102		56,5	
20/5			102,5	101		56	$r=0,1$
30/5					$r=0,2$	55	$x=0,1$
40/5	$w_{0,5}=119$	$r=0,2$				58	
50/5	$w_1=118,5$	$x=0,15$	118,5	117	$x=0,15$	63	$z=0,14$
75/5					$z=0,25$	67,5	
100/5	$w_3=117$	$z=0,25$				68	
150/5						73,5	
200/5						58	
300/5							

Параметры сердечников

Класс сердечника	0,5	1	3	
Вариаиты исполнения	Все	Все	0,5/3, 1/3	3
s, $см^2$	10,2	10,2	10,2	20,4
L, $см$	43	43	43	43
Номер кривой намагничивания на рис. 6-9	1	2	2	2

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-13, *а*, соответствующие разным $n_т$

Класс сердечника	0,5	1		3		
Варианты исполнения	Все	Все		1/3		3
$n_т$	30—40—50—75—100—150—200—300/5	5—7,5—10—15—20/5	30—40—50—75—100—150—200—300/5	5—7,5—10—15—20/5	30—40—50—75—100—150 200—300/5	5—7,5—10—15—20—30—40—50—75—100—150—200/5
Номер кривой	11	13	11	13	11	12

в) Трансформаторы тока типа ТПФМ-10

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	Класс сердечника			
	0,5 и 1	3	0,5 и 1	3
	w		*z*	
5—300/5	119	116	0,25	0,2
400/5	159	155	0,4	0,2

Параметры сердечников

$n_т$	0,5 и 1	3	0,5; 1; 3	0,5	1 и 3
	s		*L*	Номер кривой намагничивания	
5—300/5	10,2	7,3	43	1 на рис. 6-9	12 на рис. 6—12
400/5	10,2	5,1	43		

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-13, *б*, соответствующие разным $n_т$

Класс сердечника	0,5		1		3
$n_т$	5-300/5	400/5	5-300/5	400/5	5-300/5 400/5
Номер кривой	2	1	3	4	5

г) Трансформаторы тока ТФ-10

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	Д	З и 0,5	1	3	Д, З и 0,5			1 и 3		
	w				*r*	*x*	*z*	*r*	*x*	*z*
15—30—50—75—100—150—300/5	178	178,5	177,5	177	0,28	0,5	0,57	0,25	0,4	0,47
20—40—200—400/5	158	158,5	157,5	157	0,25	0,4	0,47	0,23	0,4	0,46
600/5	119	119	118,5	117	0,21	0,2	0,29	0,18	0,2	0,27

Параметры сердечников

Класс сердечника	Д и 0,5		З		1 и 3	
$n_т$	15/5—400/5	600/5	15/5÷400/5	600/5	15/5—400/5	600/5
s, *см*²	11,8	19,7	11,8	19,7	7,9	11,8
L, *см*	51,5	51,5	51,5	51,5	51,5	51,5
Номер кривой намагничивания на рис. 6-9	1	1	2	2	2	2

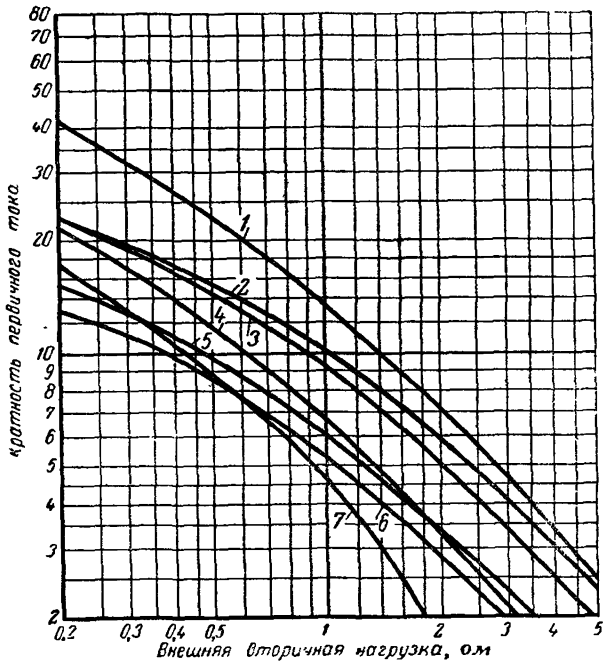


Рис. 6-14. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТФ-10 и ТФУ-10.

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-14, соответствующие разным $n_т$

$n_т$	15—30—50—75—100—150—300/5		20—40—200—400/5		600/5	
Класс сердечника	Д и 0,5	1 и 3	Д и 0,5	1 и 3	Д и 0,5	1 и 3
Номер кривой	2	5	3	6	1	4

д) Трансформаторы тока ТФУ-10

Параметры вторичных обмоток

Исполнении 3 и 3/3					Все исполнения, кроме 3 и 3/3					
$n_т$	w	r	x	z	$n_т$	Класс сердечника	w	r	x	z
15—20—30—50—75—100—150/5	58	0,22	0,05	0,225	15—20—30—40—50—75—100—150—	Д 3	119	0,21	0,2	0,29
40/5	62				200—300/5	1 3	118,5 117	0,18	0,2	0,27

Параметры сердечников

	Все исполнения, кроме 3 и 3/3				Исполнения 3 и 3/3
Класс сердечника	Д	3	1	3	3
s, $см^2$	19,7	19,7	11,8	11,8	19,7
L, $см$	51,5	51,5	51,5	51,5	51,5
Номер кривой намагничивания на рис. 6-9	1	2	2	2	2

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-14, соответствующие разным $n_т$

	Все исполнения, кроме 3 и 3/3		Исполнения 3 и 3/3
$n_т$	15/5—300/5		15/5—150/5
Класс сердечника	Д и 0,5	1 и 3	3
Номер кривой	1	4	7

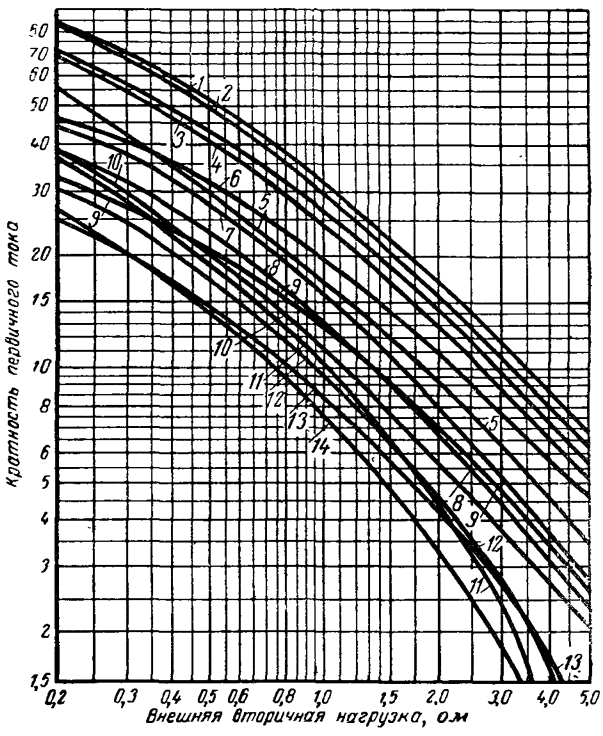
е) Трансформаторы типа ТПОФ-10

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	w					$z=r\,(x=0)$				
	Класс сердечника					Класс сердечника				
	Д	З	0,5	1	3	Д	З	0,5	1	3
400/5	—	—	—	79	77	—	—	—	0,2	0,15
600/5	120	120	119,5	119	116	0,3	0,3	0,36	0,27	0,19
750/5	150	150	150	149	146	0,34	0,34	0,35	0,27	0,23
1 000/5	200	200	199	198	195	0,38	0,38	0,38	0,3	0,26
1500/5	300	—	299	—	285	0,46	—	0,42	—	0,37
1500/10	—	150	—	—	—	—	0,18	—	—	—

Параметры сердечников

Класс сердечника	L, см	s, см²						Номер кривой намагничивания на рис. 6-10
		400/5	600/5	750/5	1 000/5	1 500/5	1 500/10	
Д	55,8	—	36,3	32,4	24,2	16,2	—	3
З		—	36,3	32,4	24,2	—	24,2	5
0,5		—	48,4	32,4	24,2	12,1	—	4
1		40,4	24,2	16,2	12,1	—	—	4
3		24,2	12,1	12,1	8,1	8,1	—	5



Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-15, соответствующие разным $n_т$

Класс сердечника	$n_т$					
	400/5	600/5	750/5	1 000/5	1 500/5	1 500/10
Д	—	2	1	1	1	—
З	—	4	3	3	—	10
0,5	—	1	3	3	6	—
1	5	7	8	8	—	—
3	11	14	12	13	9	—

Рис. 6-15 Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТПОФ-10.

ж) Трансформаторы тока ТПЛ-10; исполнения: Р и 0,5/Р

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	w	r^*	x^*	z^*
5—7,5—10—15—20—30—40—50—75—100—150—200—300/5	119	0,2	0,15	0,25
400/5	159	0,3	0,3	0,43

* Величины r, x и z—ориентировочные.

Параметры сердечников

Класс сердечника	s, см²	L, см	Номер кривой намагничивания на рис. 6-11
Р	7,85	40	9
0,5	12,6	40	

Кривые 10%-ных погрешностей для сердечников Р приведены на рис. 6-16 для $n_т$ от 5/5 до 400/5 (кривая *1*)

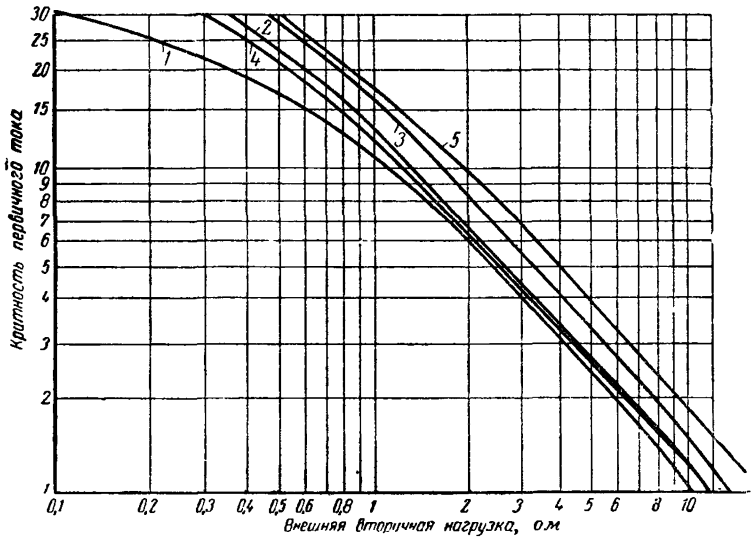


Рис. 6-16. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТПЛ-10 и ТПОЛ-10.

з) Трансформаторы тока ТПОЛ-10

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	w	$z=r$ ($x=0$)	
		Р	0,5
600/5	120	0,21	0,18
800/5	160	0,27	0,19
1 000/5	200	0,26	0,21
1 500/5	300	0,37	0,3

Параметры сердечников

Класс сердечника	s, см²				L, см	Номер кривой намагничивания на рис. 6-11
	600/5	800/5	1 000/5	1 500/5		
Р	14,17	14,17	8,1	8,1	33,8	9
0,5	8,1	6,07	6,07	6,07		

Номера кривых 10%-ных погрешностей для сердечников класса на рис. 6-16, соответствующие разным $n_т$

$n_т$	600/5	800/5	1 000/5	1 500/5
Номер кривой	2	3	4	5

и) Трансформаторы тока ТПШФ-10 и ТПШФ-20

Параметры вторичных обмоток

Классы сердечников Д и З

$I_{1ном}$, *а*	$U_{ном}$, *кв*	Д				З			
		w	*r*	*x*	*z*	*w*	*r*	*x*	*z*
2 000	10/20	398	0,69	0,61	0,92	200	0,18	0,15	0,23
3 000	10/20	597	0,87	0,75	1,15	300	0,24	0,19	0,31
4 000	10/20	797/796	0,72	0,7	1	400	0,27	0,25	0,37
5 000	10/20	996	0,7	0,85	1,1	500	0,28	0,3	0,41
6 000	20	1 196	1,04	1	1,44	—	—	—	—

Классы сердечников 0,5 и З

$I_{1ном}$, *а*	$U_{ном}$, *кв*	0,5				З			
		w	*r*	*x*	*z*	*w*	*r*	*x*	*z*
2 000	10/20	398	0,59	0,61	0,86	393/395	0,3	0,3	0,42
3 000	10/20	597	0,75	0,75	1,06	593/595	0,46	0,4	0,6
4 000	10/20	797/795	0,56	0,7	0,9	790	0,5	0,4	0,64
5 000	10/20	996	0,7	0,85	1,1	990	0,62	0,55	0,81
6 000	20	1 196	0,9	1	1,35	—	—	—	—

Номинальный вторичный ток сердечника класса З 10 *а*, остальных сердечников 5 *а*.

Параметры сердечников

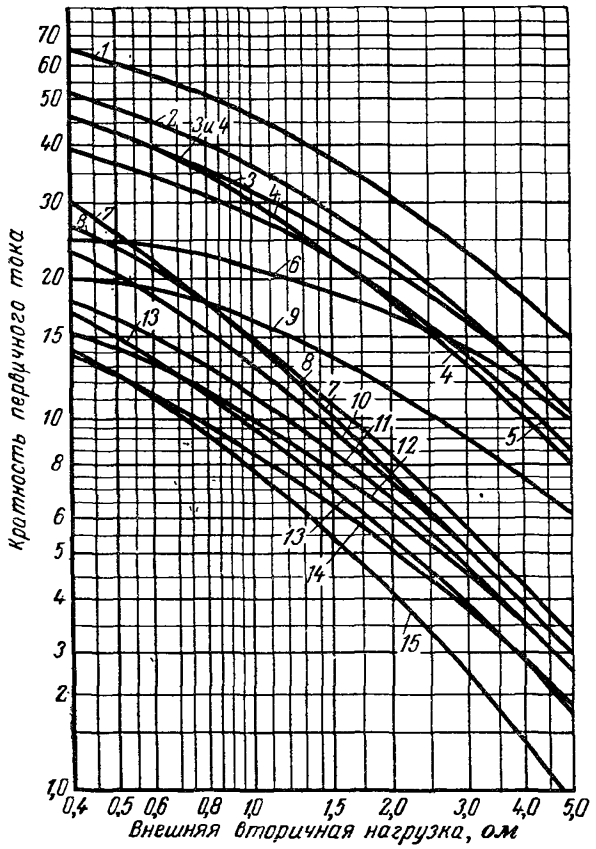
Классы сердечников Д и З

$I_{1ном}$, *а*	$U_{ном}$, *кв*	Д			З		
		s	*L*	Номер кривой намагничивания на рис. 6-10	*s*	*L*	Номер кривой намагничивания на рис. 6-10
2 000	10/20	24/30	91/97	3	24/30	91/97	5
3 000	10/20	18/23	91/97		18/23	91/97	
4 000	10/20	12/12,7	107		12/12,7	107	
5 000	10/20	7,2/7,6	107		7,2/7,6	107	
6 000	20	6	108		—	—	

Продолжение таблицы

Классы сердечников 0,5 и 3

$I_{1ном}$, а	$U_{ном}$, кв	0,5			3		
		s	L	Номер кривой намагничивания на рис. 6-10	s	L	Номер кривой намагничивания на рис. 6-10
2 000	10	18	91	4	4	83	5
	20	23	97		5,1	93	
3 000	10	12	91		4	83	
	20	23	97		5,1	93	
4 000	10	7,2	107		2,4	102	
	20	7,6			2,5		
5 000	10	7,2	107		2,4	102	
	20	7,6			2,5		
6 000	20	4	108		—	—	



Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-17, соответствующие разным $I_{1н}$

Класс сердечника	$I_{1н}$				
	2 000	3 000	4 000	5 000	6 000
Д	1	1	1	3	6
3	7	8	10	13	—
0,5	4	5	2	5	9
3	15	11	14	12	—

к) Трансформаторы тока ТФН-35

1) Исполнения ТФНД-35 Д/0,5; ТФНУД-35 Д/0,5 и ТФНУ-35 0,5/1

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	Класс сердечника							
	Д и 1*				0,5			
	w	r	x	z	w	r	x	z
От 15/5 по 600/5	238	0,47	0,3	0,56	239	0,4	0,25	0,47
750/5	298	0,6	0,3	0,67	299	0,5	0,3	0,58
1 000/5	397	0,8	0,5	0,95	399	0,62	0,35	0,71

Рис. 6-17. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТПШФ-10 и ТПШФ-20.

Параметры сердечников

Класс сердечника	Д	0,5		1*
$n_т$	15/5÷1 000/5	15/5÷750/5	1 000/5	15/5÷600/5
s, $см^2$	25,5	13	8	25,5
L, $см$	77	45,5	48	77
Номер кривой намагничивания	3 на рис. 6-10	6 на рис. 6-11		11 на рис. 6-12

* Для сердечника 1 $n_т$ = 15/5—600/5.

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-18, соответствующие разным $n_т$

Класс сердечника	Д			0,5			1
$n_т$	15/5÷600/5	750/5	1 000/5	15/5÷600/5	750/5	1 000/5	15/5÷600/5
Номер кривой	3	2	1	5	4	6	3

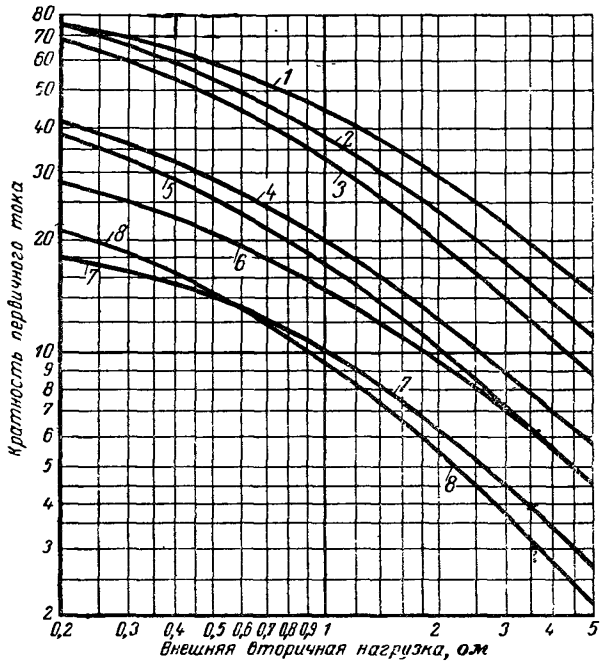


Рис. 6-18. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТФН-35.

2) Исполнение ТФН-35 0,5/3

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	Класс сердечника							
	0,5				3			
	w	r	x	z	w	r	x	z
15—30—50—150—300—750/5	299	0,6	0,3	0,67	295	0,44	0,3	0,53
40—200—400/5	319	0,65	0,35	0,74	315	0,48	0,34	0,59
600/5	359	0,73	0,44	0,85	355	0,54	0,44	0,7
1 000/5	398	0,75	0,5	0,9	396	0,8	0,44	0,92

Параметры сердечников

Класс сердечника	0,5		3
$n_т$	15/5÷750/5	1 000/5	15/5÷1 000/5
s, $см^2$	28,7	24	6,4
L, $см$	53,5	55,5	85
Кривая намагничивания	3 на рис. 6-10		11 на рис. 6-12

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-18, соответствующие разным $n_т$

Класс сердечника	0,5			3	
$n_т$	15/5 ÷ 400/5	600/5	750/5 и 1 000/5	15/5÷600/5	750/5 и 1 000/5
Номер кривой	2	1	2	7	8

л) Трансформаторы тока ТВ-35 и ТВД-35

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	50/2,5*	75/2,5*	100/2,5*		150/5		200/5		300/5		400/5	600/5
Исполнение по $I_{1н}$, *а*	50—150	50—150	50—150	100—300	50—150	100—300	100—300	200—600	100—300	200—600	200—600	200—600
w	18	28	38		28		39		58		79	119
r	0,06	0,1	0,12	0,12	0,	0,1	0,1	0,1	0,14	0,14	0,2	0,25
x	0,1	0,1	0,1	0,16	0,1	0,15	0,15	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1
z	0,116	0,142	0,156	0,2	0,14	0,18	0,18	0,22	0,17	0,24	0,28	0,27

* Трансформаторы тока включаются по два параллельно. Число витков и величины r, x, z даны для каждого отдельного трансформатора тока.

Параметры сердечников

Класс сердечника	s, *см*²	L, *см*	Номер кривой намагничивания
ТВД	34	41	12 на рис. 6-12
ТВ	34	41	5 на рис. 6-10

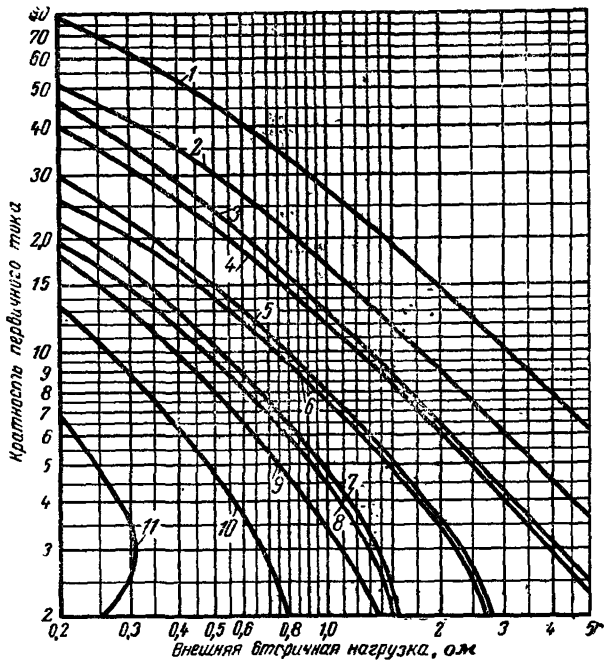


Рис. 6-19. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТВД-35.

Номера кривых 10%-ных погрешностей для сердечников ТВД на рис. 6-19, соответствующие разным $I_{1н}$

$I_{1н}$	50	75	100	150		200		300		400	600
Вариант исполнения	50—150		50—150 100—300	50—150	100—300		200—600		100—300	200—600	
Номер кривой	11	10	9	7	8	5	6	4	3	2	1

Номера кривых 10%-ных погрешностей для сердечников ТВ на рис. 6-20, соответствующие разным $I_{1н}$

$I_{1н}$	75	100	150		200		300		400	600
Вариант исполнения	50—150	50—150 100—300	50—150	100—300		200—600		100—300	200—600	
Номер кривой	10	9	7	8	5	6	4	3	2	1

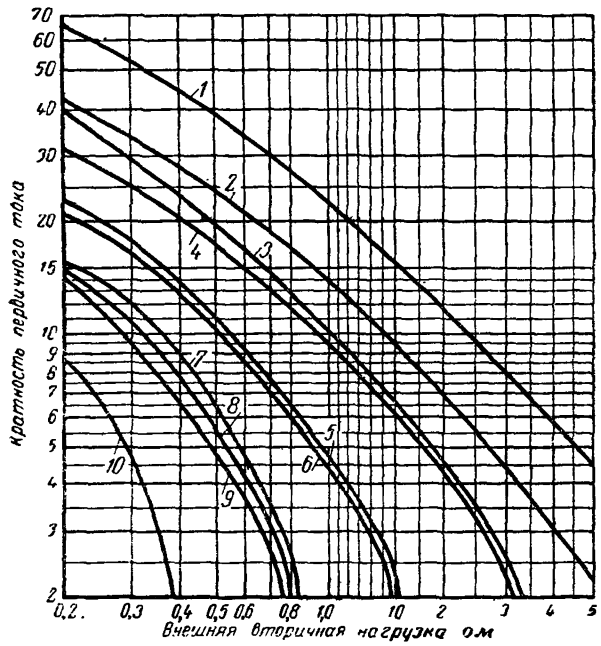


Рис. 6-20. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТВ-35.

м) Трансформаторы тока ТВ-35 МКП и ТВД-35 МКП

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	Вариант исполнения по $I_{1н}$	w	r	x	z
75/5	75—200	14	0,02	0,1	0,102
100/5	75—200	19	0,026	0,1	0,104
	100—300		0,026	0,15	0,15
150/5	75—200 100—300	29	0,04	0,15	0,16
200/5	75—200	39	0,05	0,1	0,11
	100—300		0,05	0,15	0,16
	200—600		0,05	0,2	0,21
300/5	100—300	59	0,07	0,1	0,12
	200—600		0,07	0,3	0,31
400/5	200—600	79	0,095	0,3	0,32
600/5	200—600	120	0,142	0,1	0,17
	600—1 500		0,185	0,4	0,45
750/5	600—1 500	150	0,245	0,1	0,27
1 000/5	600—1 500	200	0,326	0,6	0,68
1 500/5	600—1 500	300	0,495	0,1	0,51

Параметры сердечников ТВД и ТВ

$s=32{,}3$ *см*²	$L=50$ *см*	кривая намагничивания 8 на рис. 6-11

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-21, соответствующие разным $n_т$

$n_т$	Вариант исполнения	Номер кривой	$n_т$	Вариант исполнения	Номер кривой
	75—200	13	300/5	100—300	7
100/5	100—300	14		200—600	8
	75—200		400/5	200—600	6
150/5	100—300	12	600/5	200—600	4
	75—200	9		600—1 500	5
200/5	100—300	10	750/5	600—1 500	3
	200—600	11	1 000/5	600—1 500	2
	—	—	1 500/5	600—1 500	1

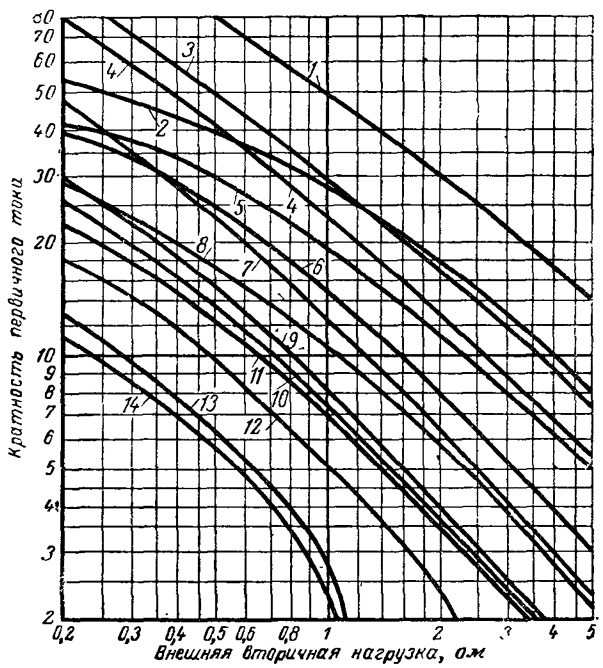


Рис. 6-21. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТВД-35-МКП и ТВ-35МКП.

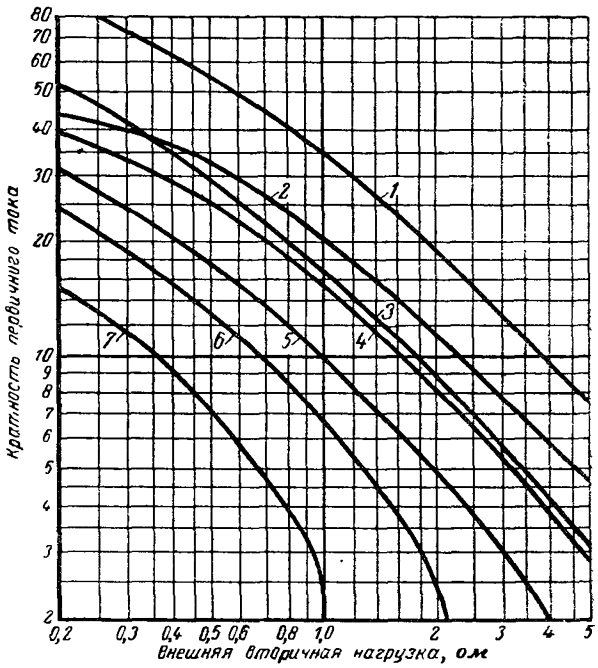


Рис. 6-22. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТМГД-35.

н) Трансформаторы тока ТМГД-35

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	100/5	150/5	200/5		300/5		400/5	600/5
Вариант исполнения по $I_{1н}$	100÷300		100÷300	200÷600	100÷300	200÷600	200÷600	
w	20	30	40		60		80	120
z	0,18		0,18		0,18		0,18	0,3

Параметры сердечников

s=48 $см^2$	L=56,5 $см$	кривая намагничивания *3* на рис. 6-10

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-22, соответствующих разным $n_т$

$n_т$	100/5	150/5	200/5		300/5		400/5	600/5
Вариант исполнения	100÷300		100÷300	200÷600	100÷300	200÷600	200÷600	
Номер кривой	7	6	5		3	4	2	1

о) Трансформаторы тока ТФНД-110

1) С номинальным первичным током до 600 *а*

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	w	Исполнение Д/1				Исполнение Д/Д/0,5			
		Класс сердечника	r	x	z	Класс сердечника	r	x	z
50÷100/5; 75÷150/5	359	Д	0,6	0,5	0,78	$Д_1$	0,46	0,5	0,68
100÷200/5; 150÷300/5						$Д_2$	0,38	0,4	0,55
300÷600/5		1	0,45	0,5	0,67	0,5	0,37	0	0,37
200÷400/5	319	Д	0,55	0,5	0,75	$Д_1$	0,4	0,5	0,65
						$Д_2$	0,34	0,4	0,53
		1	0,4	0,5	0,64	0,5	0,33	0	0,33

Параметры сердечников

Исполнение	Д/1		Д/Д/0,5		
Класс сердечника	Д	1	$Д_1$	$Д_2$	0,5
s, $см^2$	18,7	9,35	13,8	8,3	5,3
L, $см$	80	80	93,5	93,5	66,8
Номер кривой намагничивания	10 на рис. 6-12		6 на рис. 6-11		

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-23, соответствующие разным $n_т$

Исполнение	Д/1				Д/Д/0,5					
$n_т$	Все, кроме 200—400/5		200—400/5		Все, кроме 200—400/5			200—400/5		
Класс сердечника	Д	1	Д	1	$Д_1$	$Д_2$	0,5	$Д_1$	$Д_2$	0,5
Номер кривой	1	5	2	7	3	6	9	4	8	10

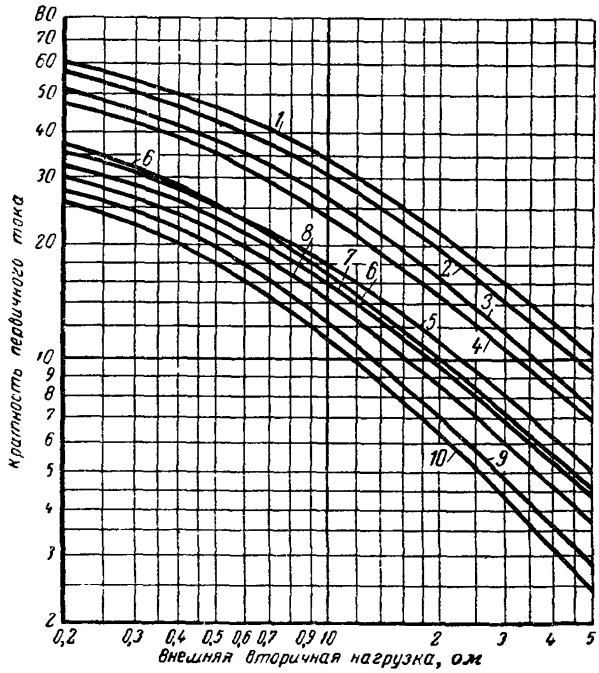


Рис. 6-23. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТФНД-110 с $I_{1ном}$ до 600 *а*.

2) С номинальным первичным током от 750 *а* до 2 000 *а*; исполнение Д/Д/0,5

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	w	Класс сердечника	r	x	z
750—1 500/5	299 299	Д 0,5	0,6 0,5	0,6 0,3	0,85 0,58
Ответвление 600—1 200/5	239	0,5	0,4	0	0,4
750—1 500/1	1 495 1 495	Д 0,5	8,2 6,55	15 7	17,1 9,57
Ответвление 600—1 200/1	1 198	0,5	5,25	0	5,25
1 000—2 000/5	399 399	Д 0,5	0,8 0,6	1,2 0,4	1,44 0,72
Ответвление 750—1 500/5	299	0,5	0,5	0	0,5
1 000—2 000/1	1 994	Д 0,5	11 8,8	30 10	31,9 13,3
Ответвление 750—1 500/1	1 495	0,5	6,3	0	6,3

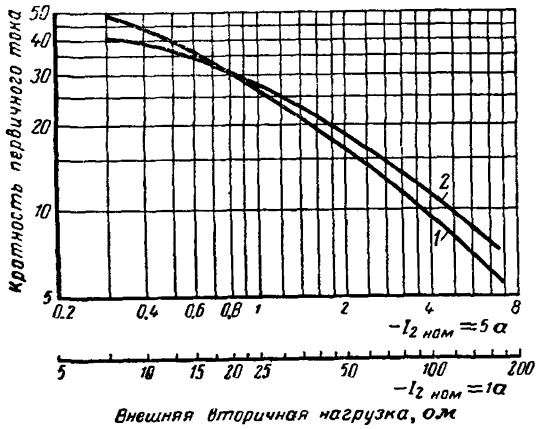


Рис. 6-24. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТФНД-110 с $I_{ном}$ до 2 000 *а*.

Параметры сердечников

Класс сердечника	s, $см^2$	L, $см$	Номер кривой намагничивания на рис. 6-11
Д	17,8	124	6
0,5	9,5	83	

Номера кривых 10%-ных погрешностей для сердечников класса Д на рис. 6-24, соответствующие разным $I_{1н}$

$I_{н1}$	750—1 500	1 000—2 000
Номер кривой	1	2

п) Трансформаторы тока ТВ-110, ТВД-110, ТН-110 и ТНД-110

Параметры вторичных обмоток

Варианты исполнения по $I_{1н}$	75—200				100—300			
$n_т$	75/5	100/5	150/5	200/5	100/5	150/5	200/5	300/5
w	15	19	30	39	10	30	39	59
r	0,03	0,043	0,064	0,086	0,043	0,064	0,086	0,128
x	0,15	0,15	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1
z	0,153	0,156	0,21	0,132	0,204	0,21	0,22	0,16

Варианты исполнения по $I_{1н}$	200—600				400—1 000			
$n_т$	200/5	300/5	400/5	600/5	400/5	600/5	750/5	1 000/5
w	40	60	80	120	79	119	150	200
r	0,086	0,128	0,17	0,26	0,17	0,26	0,33	0,44
x	0,3	0,3	0,3	0,1	0,6	0,8	0,7	0,1
z	0,31	0,326	0,344	0,28	0,62	0,84	0,77	0,45

Параметры сердечников

Класс сердечника	ТВ и ТВД	ТНД	ТН
s, $см^2$	83	83	83
L, $см$	150	150	150
Номер кривой намагничивания	7 на рис. 6-11	11 на рис. 6-12	5 на рис. 6-10

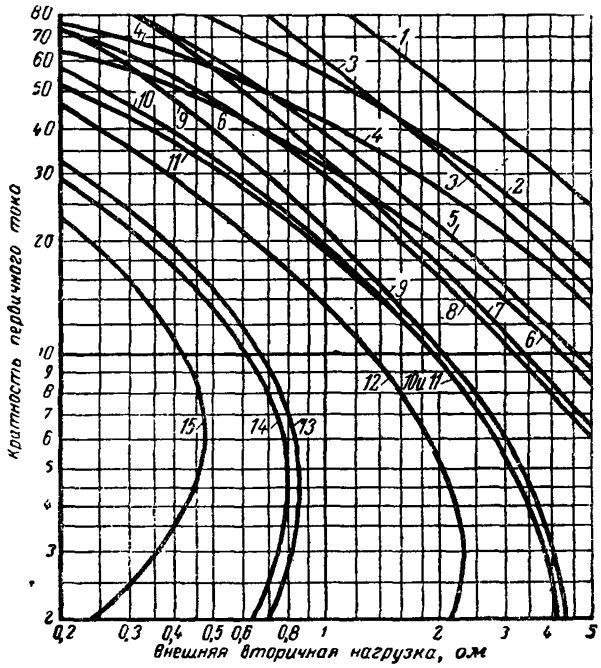


Рис. 6-25. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТВД-110 и ТВ-110.

Номера кривых 10%-ных погрешностей для сердечников ТВ и ТВД на рис. 6-25, соответствующие разным $n_т$

$n_т$	75/5		100/5	150/5		200/5		
Исполнение	75—200		100—300	75—200		100—300	200—600	
Номер кривой	15	13	14	12		9	10	11
$n_т$	300/5		400/5	600/5		750/5	1 000/5	
Исполнение	100—300	300—600	400—1 000	300—600	400—1 000			
Номер кривой	7	8	5	6	4	3	2	1

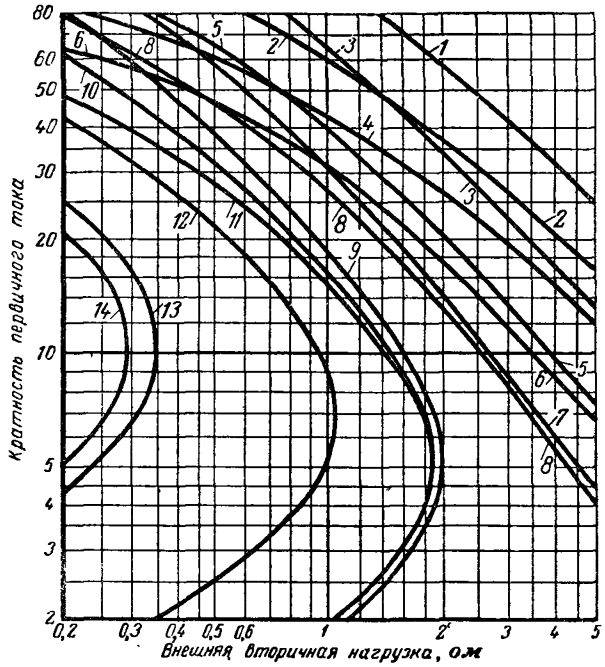


Рис. 6-26. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТНД-110.

Номера кривых 10%-ных погрешностей для сердечников ТНД на рис. 6-26, соответствующие разным $n_т$

$n_т$	100/5		150/5		200/5			
Исполнение	75—200	100—300		75—200		100—300		200—600
Номер кривой	13	14	12		9	10		11
$n_т$	300/5		400/5		600/5		750/5	1 000/5
Исполнение	100—300	300—600		400—1 000		300—600	400—1 000	
Номер кривой	7	8	5	6	4	3	2	1

Номера кривых 10%-ных погрешностей для сердечников ТН на рис. 6-27, соответствующие разным $n_т$

$n_т$	150/5	200/5			300/5
Исполнение	75—200 100—300	75—200	200—600	100—300	200—600
Номер кривой	12	9	11	10 7	8
$n_т$	400/5	600/5		750/5	1 000/5
Исполнение	400—1 000	200—600	400—1 000		
Номер кривой	6	5 3	4	2	1

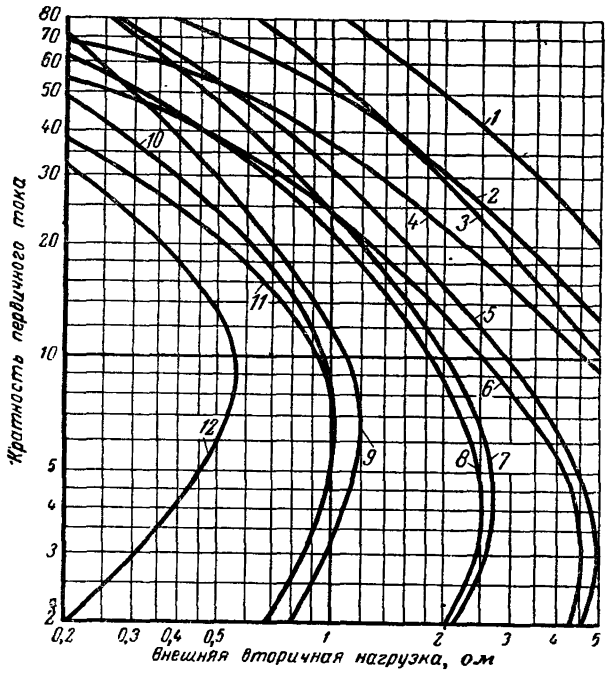


Рис. 6-27. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТН-110.

р) Трансформаторы тока ТВДМ-110, ТВМ-110, ТНДМ-110 и ТНМ-110

Параметры вторичных обмоток

Вариант исполнения по $I_{1н}$		75—200				100—300			
$n_т$		75/5	100/5	150/5	200/5	100/5	150/5	200/5	300/5
w	ТНДМ и ТНМ	15	20	30	38	20	30	38	59
	ТВДМ и ТВМ	15	18	29	39	18	29	39	60
r		0,03	0,043	0,064	0,086	0,043	0,064	0,086	0,128
x		0,15	0,15	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1
z		0,153	0,156	0,21	0,134	0,205	0,21	0,218	0,163

Вариант исполнения		200—600				400—1 000			
$n_т$		200/5	300/5	400/5	600/5	400/5	600/5	750/5	1 000/5
w	ТНДМ и ТНМ	37	58	79	120	77	118	148	200
	ТВДМ и ТВМ	39	60	79	119	79	119	149	200
r		0,086	0,128	0,171	0,26	0,171	0,26	0,33	0,44
x		0,3	0,3	0,3	0,1	0,6	0,8	0,7	0,1
z		0,31	0,327	0,346	0,279	0,624	0,84	0,774	0,45

Параметры сердечников

Класс сердечника	s, $см^2$	L, $см$	Номер кривой намагничивания
ТВДМ и ТВМ	90	150	8 на рис. 6-11
ТНДМ и ТНМ	90	150	12 на рис. 6-12

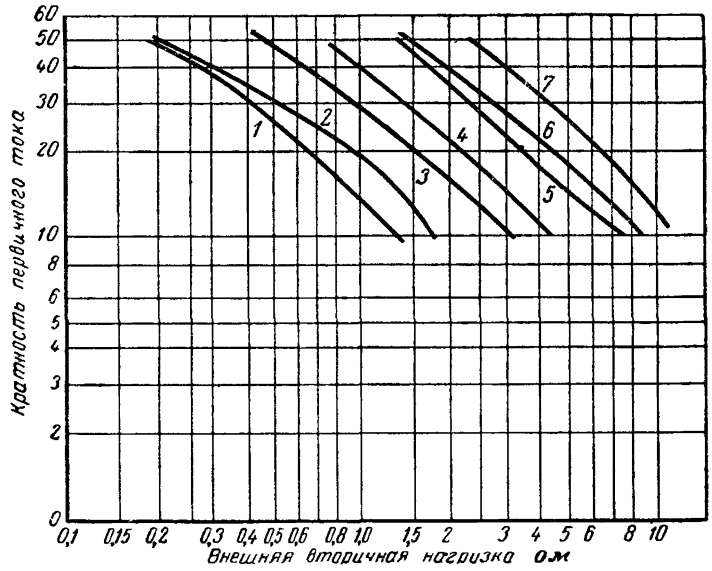


Рис. 6-28. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТВДМ-110 и ТВМ-110.

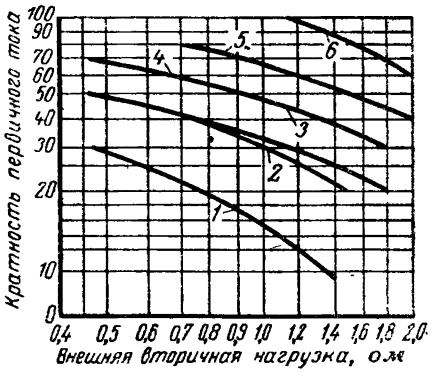


Рис. 6-29. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТНДМ-110 и ТНМ-110.

Номера кривых 10%-ных погрешностей для ТВДМ и ТВМ на рис. 6-28 и для ТНДМ и ТНМ на рис. 6-29, соответствующие разным $n_т$

$n_т$		150/5	200/5	300/5	400/5	600/5	750/5	1 000/5
Номер кривой	ТВДМ и ТВМ	1	2	3	4	5	6	7
	ТНДМ и ТНМ	—	1	2	3	4	5	6

с) Трансформаторы тока ТФНД-154 Д/Д/0,5

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	Класс сердечника	w	r	x	z
600—1 200/5	$Д_1$ $Д_2$	479	0,82 0,75	1 0,6	1,28 0,96
600—1 200/2,5	$Д_1$ $Д_2$	958	3,3 3	1,5 1	3,62 3,15
600—1 200/5 400—800/5	0,5	479 318	0,57 0,38	0,5 0,4	0,76 0,55

Параметры сердечников

Класс сердечника	$Д_1$	$Д_2$	0,5
s, $см^2$	18,7	14	5,1
L, $см$	117,5	117,5	83,2
Номер кривой намагничивания на рис. 6-11	6	6	6

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-30, соответствующие разным $I_{1ном}$

$I_{1н}$	600—1200					400—800
Класс сердечника	$Д_1$		$Д_2$		0,5	0,5
$I_{2н}$	2,5	5	2,5	5	5	5
Номер кривой	1	2	3	4	5	6

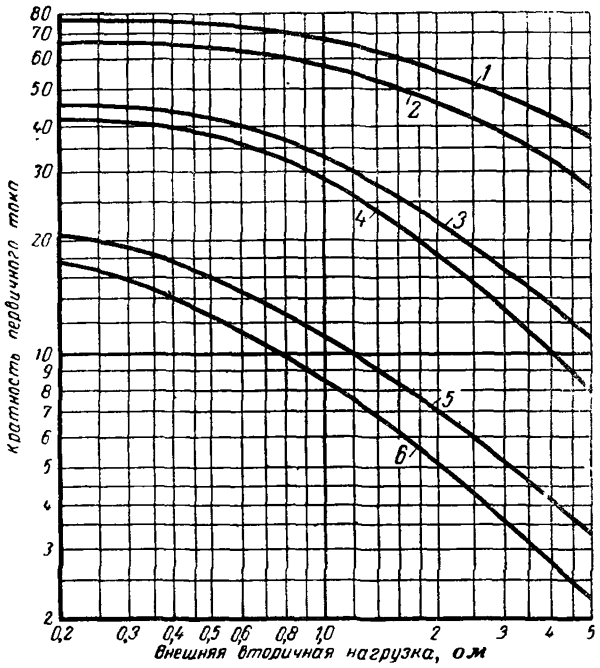


Рис. 6-30. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТФНД-154.

т) Трансформаторы тока ТФНД-220 Д/Д/Д/0,5

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	Класс сердечника	w	r	x	z
300—600—1 200/5	$Д_1$ $Д_2$ $Д_3$ 0,5	479	0,54 0,54 0,5 0,5	1 1 0 0	1,14 1,14 0,5 0,5
Ответвление 200—400—800/5	0,5	319	0,35	0	0,35
300—600—1 200/1	$Д_1$ $Д_2$ $Д_3$ 0,5	2 400	12 12 10,5 10,5	25 25 0 0	28 28 10,5 10,5
Ответвление 200—400—800/1	0,5	1 600	7,5	0	7,5

Параметры сердечников

Класс сердечника	$Д_1$	$Д_2$	$Д_3$	0,5
s, $см^2$	16,5	16,5	10,6	10,6
L, $см$	156	156	115	115
Номер кривой намагничивания на рис. 6-11	6			

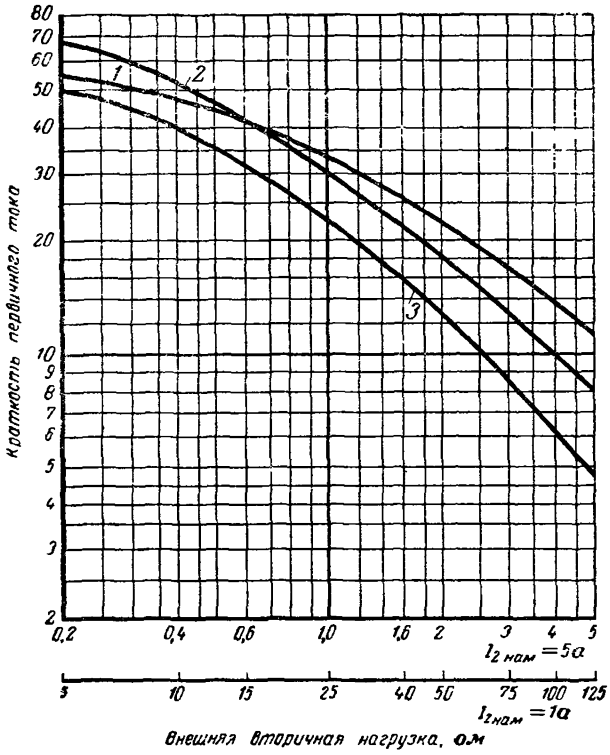


Рис. 6-31. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТФНД-220.

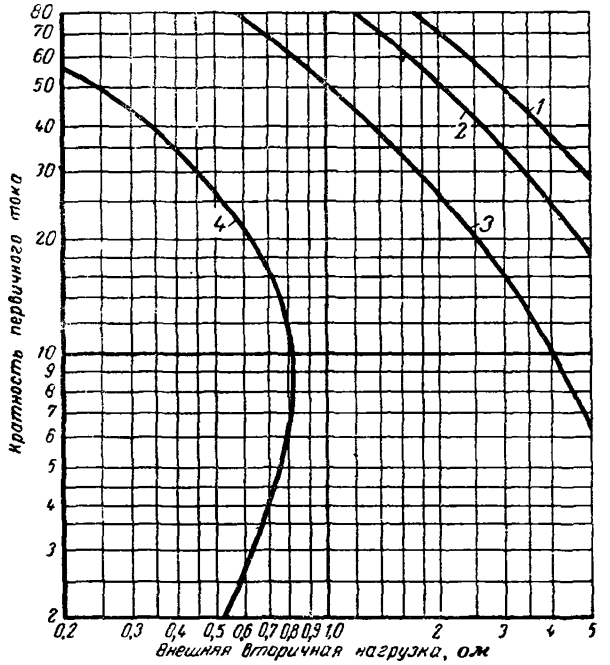


Рис. 6-32. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТВД-274 и ТВ-274.

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-31, соответствующие разным $I_{1н}$

$I_{1н}$	300—600—1 200				200—400—800
Класс сердечника	$Д_1$	$Д_2$	$Д_3$	0,5	0,5
Номер кривой	1		2		3

у) Трансформаторы тока ТВ-274 и ТВД-274

Параметры вторичных обмоток

$n_т$	w	r	x	z
200/5	35	0,1	0,3	0,32
400/5	76	0,2	0,4	0,45
600/5	118	0,3	0,3	0,43
800/5	158	0,4	0,1	0,41

Параметры сердечников

Класс сердечника	s, $см^2$	L, $см$	Номер кривой намагничивания на рис. 6-10
ТВ и ТВД	158	268	5

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-32, соответствующие разным $I_{1н}$

$I_{1н}$	200	400	600	800
Номер кривой	4	3	2	1

ф) Трансформаторы тока ТВД-220

Параметры вторичных обмоток

Исполнение	200—600				400—1 000				600—1 500			
$n_т$	200/5	300/5	400/5	600/5	400/5	600/5	750/5	1 000/5	600/5	750/5	1 000/5	1 500/5
w	38	58	78	119	78	119	149	200	118	148	199	300
r	0,11	0,165	0,22	0,33	0,22	0,33	0,41	0,55	0,33	0,41	0,55	0,83
x	0,2	0,25	0,3	0,1	0,6	0,8	0,7	0,1	1,4	1,6	1,7	0,1
z	0,23	0,3	0,375	0,345	0,636	0,865	0,75	0,56	1,44	1,66	1,75	0,835

Параметры сердечников

s=100 $см^2$;	L = 256 $см$;	кривая намагничивания *8* на рис. 6-11

Номера кривых 10%-ных погрешностей на рис. 6-33, соответствующие разным $I_{1н}$

$I_{1н}$	200	300	400	600	750	1 000	1 500
Номер кривой	1	2	3	4	5	6	7

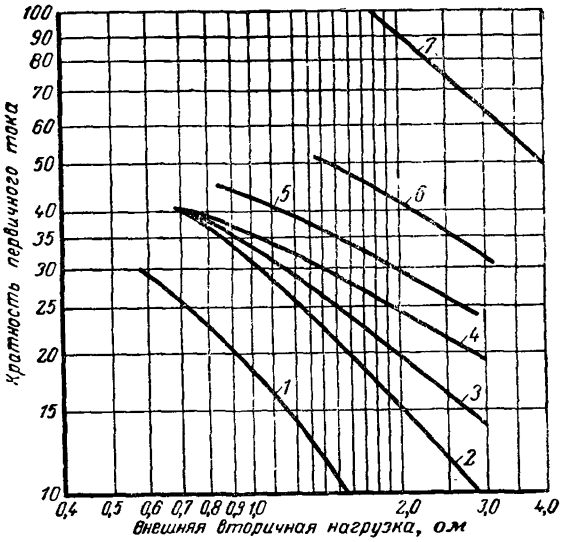


Рис. 6-33. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТВД-220.

х) Трансформаторы тока ТФНК-400

Исполнение: Д/Д/Д/1

1. Схема. Трансформатор тока каскадный, двухступенчатый. В I (верхней) ступени — один трансформатор тока, во II (нижней) ступени — четыре отдельных трансформатора тока. Первичная обмотка трансформатора тока нижней ступени общая для всех четырех сердечников. Она подключена ко вторичной обмотке трансформатора тока верхней ступени (рис. 6-34).

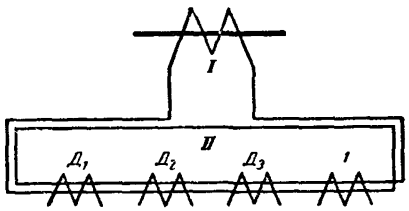


Рис. 6-34. Схема двухступенчатого трансформатора тока типа ТФНК-400.

2. Верхняя ступень

$n_т$	w_1	w_2	r_2	x_2	z_2
500—1 000—2 000/20	4	99	0,047	0,3	0,31

3. Нижняя ступень

$n_т$	Класс сердечника	w_1	w_2	r_2	x_2	z_2	r_1	$x^*_{1к}$	$z^*_{1к}$
20/1	Д1	60	1 188	5,4	8,4	10	0,104	1,31	1,32
	Д2			5,5	3	6,25			
	Д3			5,4	8,4	10			
	1		1 200	7,8	0	7,8			

* Сопротивление короткого замыкания со стороны первичной обмотки при закороченных вторичных обмотках всех четырех сердечников (суммарное сопротивление короткого замыкания всех сердечников нижней ступени).

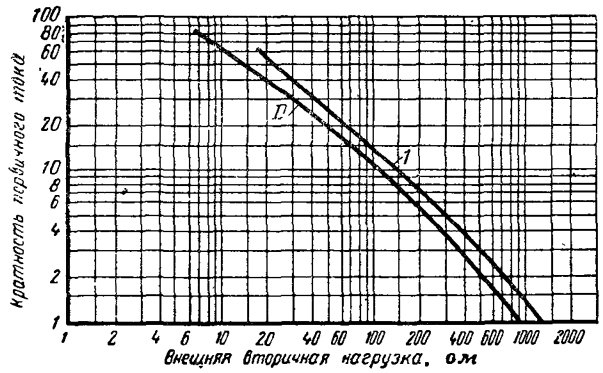


Рис. 6-35. Кривые 10%-ных погрешностей трансформаторов тока ТФНК-400.

Параметры сердечников

Класс сердечника	Верхняя ступень	Нижняя ступень			
		$Д_1$	$Д_2$	$Д_3$	1
s, $см^2$	159,4	23,2			29,1
L, $см$	148	166,5			117,8
Номер кривой намагничивания на рис. 6-11	6				

Кривые 10%-ных погрешностей сердечников нижней ступени приведены на рис. 6-35.

Погрешности трансформатора тока верхней ступени незначительные и могут не приниматься во внимание.

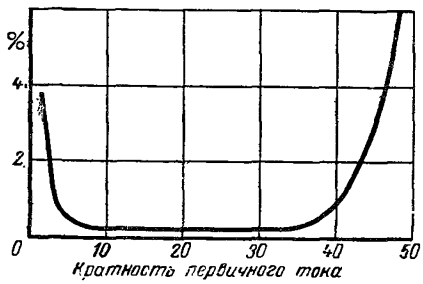


Рис. 6-36. Кривая погрешностей по току верхней ступени трансформаторов тока ТФНК-400.

Кривая погрешностей трансформатора тока верхней ступени приведена на рис. 6-36, где

$$\Delta I\% = \frac{I_{ном}}{I_1} \cdot 100.$$

Эта кривая соответствует работе всех четырех трансформаторов тока нижней ступени с 10%-ной погрешностью.

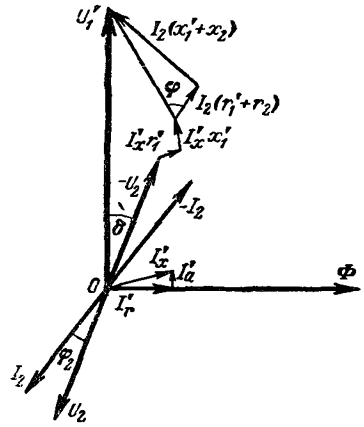


Рис. 6-37. Векторная диаграмма трансформатора напряжения.

6-5. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТРАНСФОРМАТОРАХ НАПРЯЖЕНИЯ

Работа трансформатора напряжения (ТН) характеризуется векторной диаграммой, приведенной на рис. 6-37.

На рис. 6-37 и в дальнейшем приняты следующие условные обозначения:

U_1 — первичное напряжение;
U_2 — вторичное напряжение;
$Ф$ — магнитный поток;
w_1 — число витков первичной обмотки;
w_2 — число витков вторичной обмотки;
$n_н = \frac{w_1}{w_2}$ — коэффициент трансформации ТН;
$U'_1 = \frac{U_1}{n_н}$ — первичное напряжение, приведенное ко вторичной обмотке;
$z_1 = r_1 + jx_1$ — полное сопротивление первичной обмотки;
r_1, r_2 — активные сопротивления первичной и вторичной обмоток;
x_1, x_2 — реактивные сопротивления первичной и вторичной обмоток;
$z'_1 = \frac{z_1}{n_н^2}$ — полное сопротивление первичной обмотки, приведенное к вторичной обмотке;
z_2 — полное сопротивление вторичной обмотки;
$x'_к$ — реактивное сопротивление короткого замыкания, приведенное к вторичной обмотке;
I_1 — первичный ток ТН;
I_2 — вторичный ток ТН, ток нагрузки;
$I'_1 = I_1 n_н$ — первичный ток ТН, приведенный к вторичной обмотке;
$I'_х$ — ток холостого хода, приведенный к вторичной обмотке;
$e_к$ — напряжение короткого замыкания, %;
φ_2 — угол сдвига фаз между U_2 и I_2;
$\varphi_к$ — угол сдвига фаз короткого замыкания трансформатора напряжения;
δ' — угловая погрешность;
$\delta'_х$ — угловая погрешность, обусловленная током холостого хода;

$\delta'_{н}$ — угловая погрешность, обусловленная током нагрузки;

ΔU — погрешность по напряжению.

Точность работы ТН характеризуется двумя погрешностями: по напряжению и по углу.

Погрешность по напряжению равна:

$$\Delta U\% = \frac{n_{н}U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100. \qquad (6\text{-}40)$$

Погрешность по углу определяется по выражению

$$\delta' = \delta'_{х} + \delta'_{п}, \qquad (6\text{-}41а)$$

где

$$\delta'_{х} = \frac{3\,440}{U_2}(I'_{r}r_1 - I'_{а}x_1); \qquad (6\text{-}41б)$$

$$\delta'_{п} = \frac{3\,440}{U_2}[(r'_1 + r_2)\sin\varphi_2 - x_{к}\cos\varphi_2]. \qquad (6\text{-}41в)$$

ТН имеют три класса точности, соответствующие следующим максимальным погрешностям (табл. 6-3).

Таблица 6-3

Максимальные погрешности трансформаторов напряжения при разных классах точности

Класс точности	Максимальная погрешность	
	по напряжению, %	по углу, *мин*
0,5	±0,5	±20
1	±1	±40
3	±3	Не нормируется

Согласно ГОСТ 1983-43 ТН должны работать в классе точности при первичном напряжении $U_1 = (0{,}9 \div 1{,}1)U_{1н}$ и при нагрузке вторичной обмотки в пределах

$$S = (0{,}25 - 1)\left(\frac{U_1}{U_{1н}}\right)^2 S_{н}. \qquad (6\text{-}42)$$

ТН характеризуется также максимальной мощностью, которую он может длительно отдавать при номинальном напряжении вторичной обмотки и при допустимом нагреве всех его частей. При отдаче максимальной мощности ТН работает вне класса точности.

Основные технические данные ТН отечественного производства приведены в табл. 6-4.

6-6. ЦЕПИ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

а) Схемы соединения трансформаторов напряжения и их цепей

Схемы соединения ТН для включения цепей защиты, автоматики и измерений приведены на рис. 6-38—6-40 и в табл. 6-5—6-7.

В схеме на рис. 6-38,*е* установлен прибор контроля изоляции цепей напряжения, дающий сигнал от реле *П* при замыкании на землю в любой точке цепей напряжения.

Прибор контроля изоляции необходим для предотвращения ложной работы защиты или автоматики при замыкании на землю во второй точке. Конденсатор сглаживает пульсацию выпрямленного напряжения. Опробование устройства сигнализации производится кнопкой.

б) Заземление в цепях напряжения

1. Заземление вторичных обмоток ТН, выполненное для обеспечения безопасности обслуживающего персонала, может подключаться в любой точке цепей напряжения.

Заземление рекомендуется устанавливать на ближайшей к ТН сборке зажимов. Сечение медного заземляющего провода должно быть не менее 4 *мм*^{2}.

Заземление должно быть жестко связано с вторичными обмотками ТН, так, чтобы оно не могло быть отделено от обмоток рубильниками, предохранителями, блок-контактами и т. п.

Если же такое отделение возможно (рис. 6-38,*е*), дополнительно должен устанавливаться пробивной предохранитель (например, типа ПП-А/3 на 350 *в*).

2. В цепях напряжения заземляется одна из фаз при схеме соединения ТН в треугольник, в открытый треугольник и при схеме соединения в звезду в случаях, когда цепи ТН используются для синхронизации.

При отсутствии цепей синхронизации у ТН, соединенных в звезду, обычно заземляется нулевая точка.

3. При использовании ТН для питания оперативных цепей защиты и автоматики его вторичные обмотки заземляются через пробивной предохранитель (рис. 6-38,*е*).

4. При соединении общей шинкой цепей нескольких трансформаторов напряжения заземление следует выполнять только в одной точке на щите управления. Соединение заземленной шинки с выводами трансформаторов напряжения должно выполняться медным проводом сечением не менее 4 *мм*^{2}. На каждом трансформаторе напряжения необходимо устанавливать пробивной предохранитель типа ПП-А/3500 между заземляющим контуром и зажимом, соединяемым кабелем с общей заземленной шинкой.

в) Расстановка предохранителей и автоматов в цепях напряжения

1. Предохранители или автоматы устанавливаются во всех незаземленных проводах для защиты ТН от коротких замыканий: в двух фазах и в нулевом проводе (при заземлении третьей фазы) или всех трех фазах (при заземлении нулевой точки).

2. В схемах соединения ТН с заземлением одной из фаз сигнализация при перегорании предохранителя, установленного в нулевом проводе, не работает. Для исключения этого допускается установка предохранителя в заземленной фазе (рис. 6-39,*г*, табл. 6-6) с дополнительной установкой пробивного предохранителя в нулевом проводе.

3. Если от ТН питается быстродействующая защита, которая может ложно подействовать при нарушении цепей напряжения (например, защита с реле сопротивления), в цепях напряжения должны устанавливаться автоматические выключатели (автоматы).

В цепях напряжения для сетей 110 *кв* и выше устанавливаются однофазные автоматы. В цепях напряжения для сетей 35 *кв* и ниже обычно устанавливаются трехфазные автоматы. Время срабатывания автомата должно быть порядка 5—10 *мсек*.

4. В цепях разомкнутого треугольника устанавливается только один предохранитель в испытательном проводе (рис. 6-40).

Технические данные трансформаторов напряжения

Таблица 6-4

Тип	Исполнение	Соединение обмоток	$U_{1н}$, в	$U_{2н}$, в		$S_н$ в классе точности			$S_{макс}$, ва	r_1, ом	r_2, ом	$I'_к$, а	$u_к$, %*
				Y	Δ	0,5	1	3					
НОС-0,5	Однофазные двухобмоточные	1/1-12	380	100	—	25	40	100	200	23,2	0,94	0,465	0,55
НОС-0,5		1/1-12	500	100	—	25	40	100	200	14,9	0,94	0,465	0,525
НОСК-3		1/1-12	3 000	100	—	30	50	120	240	485	0,76	1,15	0,415
НОСК-6		1/1-12	6 000	100	—	50	80	200	400	—	—	—	—
НОМ-6		1/1-12	2 100	100	—	30	50	120	400	233	0,762	1,15	0,432
НОМ-6		1/1-12	3 000	100	—	30	50	120	400	485	0,76	1,15	0,432
НОМ-6		1/1-12	6 000	100	—	50	80	200	600	2 045	0,755	1,15	0,74
НОМ-10		1/1-12	10 000	100	—	80	150	320	720	2 640	0,421	3,5	0,612
НОМ-15		1/1-12	13 800	100	—	80	150	320	840	—	—	—	0,405
НОМ-15		1/1-12	15 000	100	—	80	150	320	840	—	—	—	0,375
НОМ-15		1/1-12	18 000	100	—	80	150	320	840	—	—	—	0,419
НОМ-35		1/1-12	35 000	100	—	150	250	600	1 200	9 500	0,1	6,85	0,422
3НОМ-35-54	Однофазный трехобмоточный	1/1/1-12	$\frac{35\,000}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	150	250	600	1 200	—	—	—	0,73
НТС-0,5	Трехфазные трехстержневые двухобмоточные	Y/Y-12	380	100	—	50	80	200	400	—	—	—	0,47
НТС-0,5		Y/Y-12	500	100	—	50	80	200	400	—	—	—	0,47
НТМК-6-48		Y/Y-12	3 000	100	—	50	80	200	400	297	0,244	—	0,318
НТМК-6-48		Y/Y-12	6 000	100	—	80	150	320	640	1 285	0,208	2,9	0,382
НТМК-10		Y/Y-12	10 000	100	—	120	200	480	960	—	—	—	0,383
НТМИ-6	Трехфазные пятистержневые трехобмоточные	Y/Y-12	3 000	100	$\frac{100}{3}$	50	80	200	400	—	—	—	0,46
НТМИ-6		Y/Y-12	6 000	100	$\frac{100}{3}$	80	150	320	640	—	—	—	0,625
НТМИ-10		Y/Y-12	10 000	100	$\frac{100}{3}$	120	200	480	960	—	—	—	0,468
НТМИ-18		Y/Y-12	13 800	100	$\frac{100}{3}$	120	200	480	960	—	—	—	0,506
НТМИ-18		Y/Y-12	15 000	100	$\frac{100}{3}$	120	200	480	960	—	—	—	—
НТМИ-18		Y/Y-12	18 000	100	$\frac{100}{3}$	120	200	480	960	—	—	—	0,536
НКФ-110	Однофазные каскадные трехобмоточные	1/1/1-12	$\frac{110\,000}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	100	—	500	1 000	2 000	1 530	$\frac{0{,}0135^{**}}{0{,}0135}$	$\frac{33{,}5^{**}}{19{,}4}$	$\frac{0{,}635^{***}}{1{,}66/1{,}43}$
НКФ-220		1/1/1-12	$\frac{154\,000}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	100	—	500	1 000	2 000		—	—	—
НКФ-220		1/1/1-12	$\frac{220\,000}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	100	—	500	1 000	2 000	3 060	$\frac{0{,}0135^{**}}{0{,}0135}$	$\frac{67^{**}}{38{,}8}$	1,19
НКФ-400		1/1/1-12	$\frac{400\,000}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	100	—	500	—	—	—	—	—	1,36
НКФ-500		1/1/1-12	$\frac{500\,000}{\sqrt{3}}$	$\frac{100}{\sqrt{3}}$	100	—	500	—	—	—	—	—	1,43—1,8

* Величина $u_к$, % отнесена к номинальной мощности в высшем классе точности.

** В числителе дано значение для обмоток, соединяемых в звезду, в знаменателе — в разомкнутый треугольник.

*** Даны $u_к$, % для трансформаторов трех выпусков НКФ-110-41, НКФ-110-54, НКФ-110-57.

Таблица 6-5

Схемы соединения однофазных двухобмоточных трансформаторов напряжения

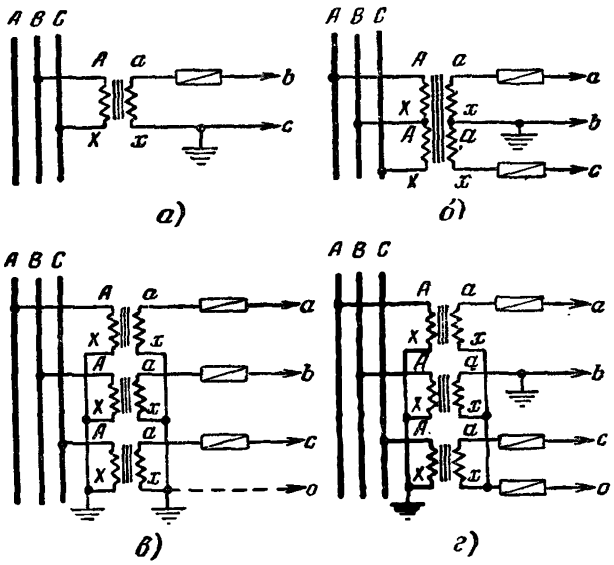
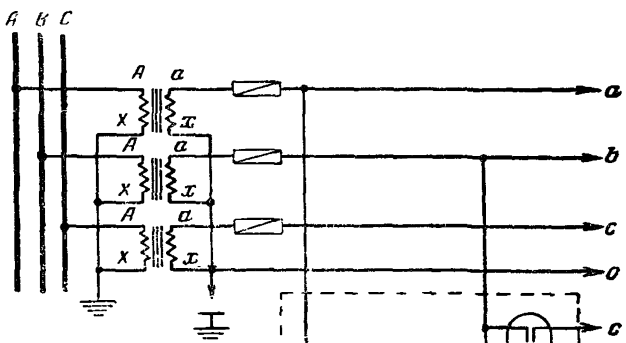
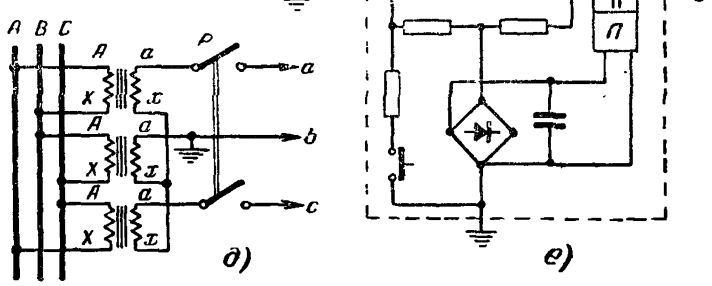
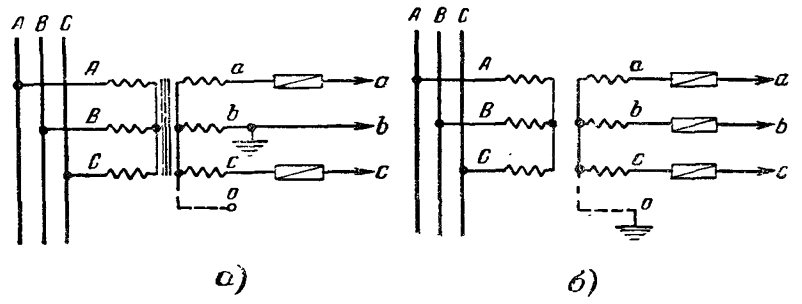
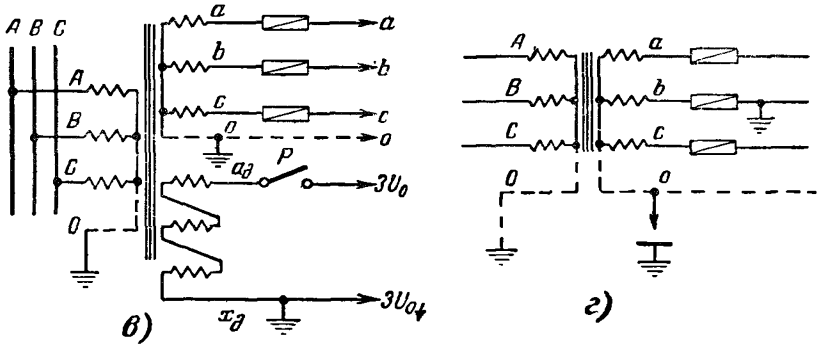
Схема	Применение
	В сетях 3—18 *кв* для включения реле, приборов, устройств автоматики на междуфазные напряжения
	Для включения реле приборов, устройств автоматики на междуфазные и фазные напряжения
	В специальных случаях для компенсации углового сдвига в приборах синхронизации, для питания регуляторов напряжения *(д)*
	Для питания оперативных цепей защиты и автоматики *(е)*

Таблица 6-6

Схемы соединения трехфазных трансформаторов напряжения

Схема	Применение
	В сетях с изолированной нейтралью для включения реле, приборов, устройств автоматики на междуфазные и фазные напряжения
	В сетях с изолированной нейтралью для включения реле, приборов, устройств автоматики на междуфазные и фазные напряжения, а также для получения напряжения нулевой последовательности

5. В цепях ТН, питающих автоматические регуляторы напряжения и устройства быстродействующего возбуждения генераторов и синхронных компенсаторов, предохранители и автоматы не устанавливаются для предотвращения ложного действия устройств регулирования и форсировки возбуждения при нарушении цепей напряжения.

6. Предохранители и автоматы должны устанавливаться возможно ближе к защищаемому ТН. При этом должна быть обеспечена возможность смены предохранителей и включения автоматов без отключения ТН.

7. Предохранители, через которые питаются цепи защиты, должны иметь надежную конструкцию, например ПТ, БЗ и т. п. Установка в цепях защиты пробочных предохранителей не допускается.

г) Переключение цепей напряжения

1. Цепи низкого напряжения по условиям техники безопасности должны обеспечивать видимый разрыв, предотвращающий возможность подачи напряжения с низкой стороны на высокую. Видимый разрыв выполняется с помощью трубчатых предохранителей, вынимаемых при работах на ТН. В незаземленных проводах, где отсутствуют предохранители, дополнительно устанавливаются рубильники (рис. 6-38—6-40), которые отключаются при работах на ТН.

2. При наличии двух и более систем шин или секций, на каждой из которых предусмотрен ТН, устройства защиты и автоматики должны питаться от ТН своей секции или системы шин.

Переключение цепей напряжения устройств защиты и автоматики с одного ТН на другой производится вручную или автоматически с помощью блок-контактов шинных разъединителей или выключателей. Наиболее употребительные схемы переключения цепей напряжения приведены в табл. 6-8.

3. При выполнении автоматического переключения цепей напряжения табл. 6-8,*в*, *г*, *д* необходимо, чтобы в цепях напряжения блок-контакты замыкались после того, как замкнутся силовые контакты разъединителя или выключателя. Невыполнение этого условия может при переключениях привести к перегоранию предохранителей или отключению автоматов одного или обоих ТН из-за большого зарядного тока шин высокого напряжения.

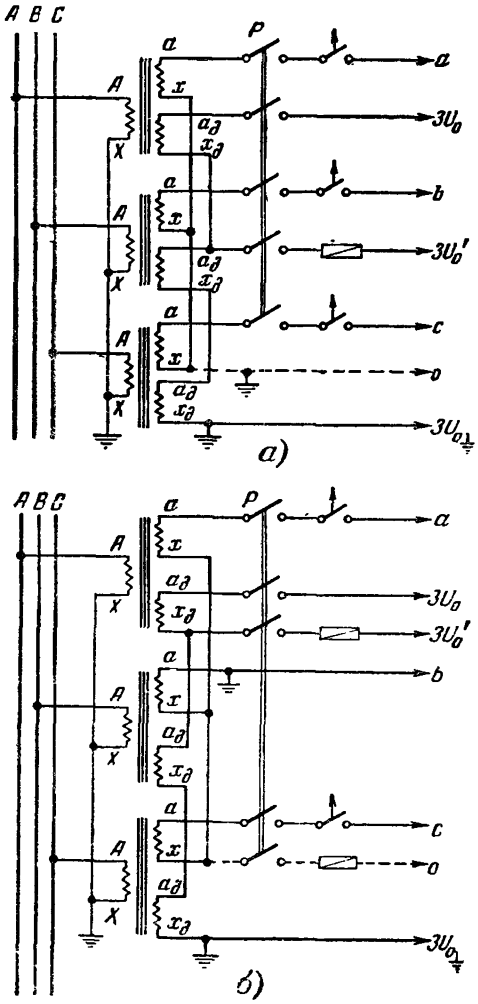
4. При работе подстанции на двух системах шин, когда нормально включены оба выключателя каждого присоединения, может применяться параллельная работа ТН обеих систем шин.

д) Контроль исправности цепей напряжения

В том случае, если нарушение цепей напряжения может привести к ложному действию или отказу защиты, должны быть предусмотрены устройства сигнали-

Таблица 6-7

Схемы соединения однофазных трехобмоточных трансформаторов напряжения

Схема	Применение
	Применяется в сетях с заземленной нейтралью для включения реле, приборов, устройств автоматики на междуфазные и фазные напряжения, а также на напряжение нулевой последовательности. Для проверки направленных защит от замыканий на землю в схемах предусматривается специальный вывод—испытательный провод $3U_0$

зации нарушения цепей напряжения и блокировка защит, которые могут ложно сработать в этом случае.

Схемы устройств сигнализации и блокировки приведены в табл. 6-9 и 6-10.

6-7. РАСЧЕТНАЯ ПРОВЕРКА РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

а) Определение нагрузки на ТН

При новом включении ТН или при подключении к нему новых цепей необходимо проверить соответствие нагрузки для работы ТН в необходимом классе точности.

Проверка производится для двух режимов: нормального и аварийного, когда нагрузка ТН увеличивается за счет подключения к нему нормально отключенных обмоток реле.

В нормальном режиме класс точности ТН определяется требованием точности измерений подключенных к нему приборов, а именно: класс 3 — для питания от ТН указывающих и регистрирующих приборов и класс 0,5 — для питания счетчиков.

В аварийном режиме класс точности определяется условиями работы релейной защиты, включенной на ТН, и приведен в табл. 6-11.

Величина нагрузки ТН в нормальном режиме измеряется или определяется расчетным путем.

Таблица 6-8

Схемы переключения цепей напряжения

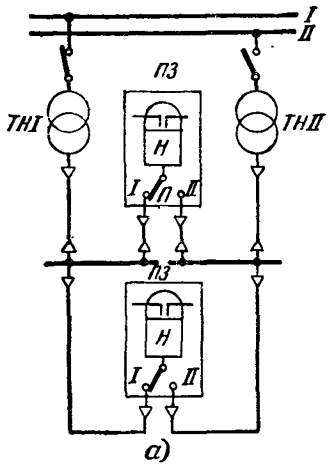
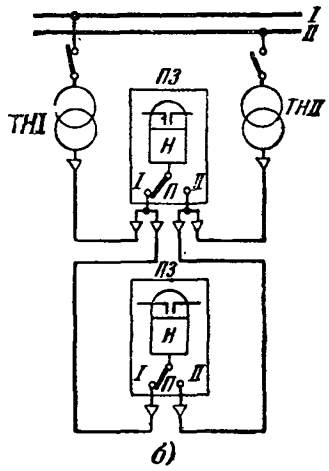
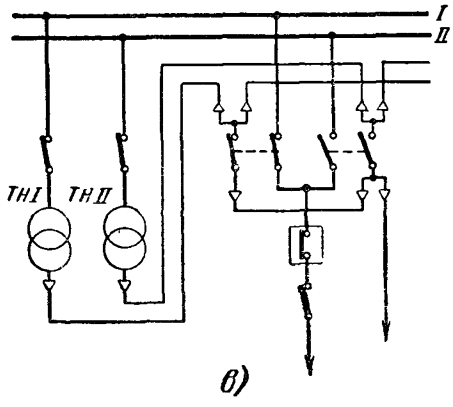
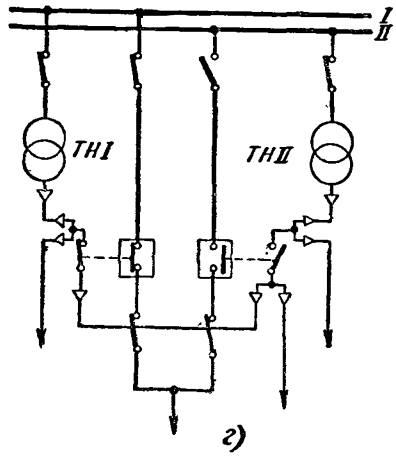
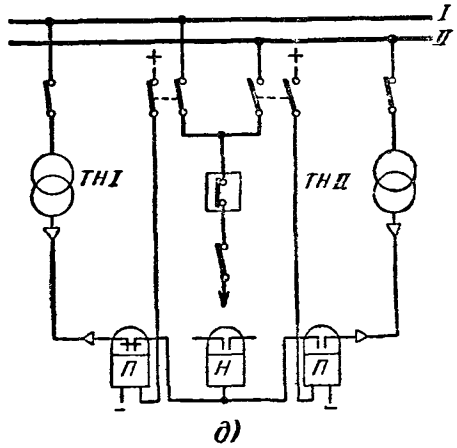
Схема	Пояснение
 *а)*	Переключение производится вручную. Цепи напряжения подаются на панели защит от общей сборки кросса цепей напряжения *(а)*
 *б)*	Переключение производится вручную. Цепи напряжения поочередно заводятся на каждую панель *(б)*
 *в)*	Переключение производится автоматически блок-контактами шинных разъединителей *(в)*
 *г)*	Переключение производится автоматически блок-контактами выключателей *(г)*
 *д)*	Переключение производится автоматически промежуточными реле, которые управляются блок-контактами разъединителей

Таблица 6-9

Схемы сигнализации и блокировки защит при нарушении цепей напряжения трансформаторов напряжения, соединенных в звезду

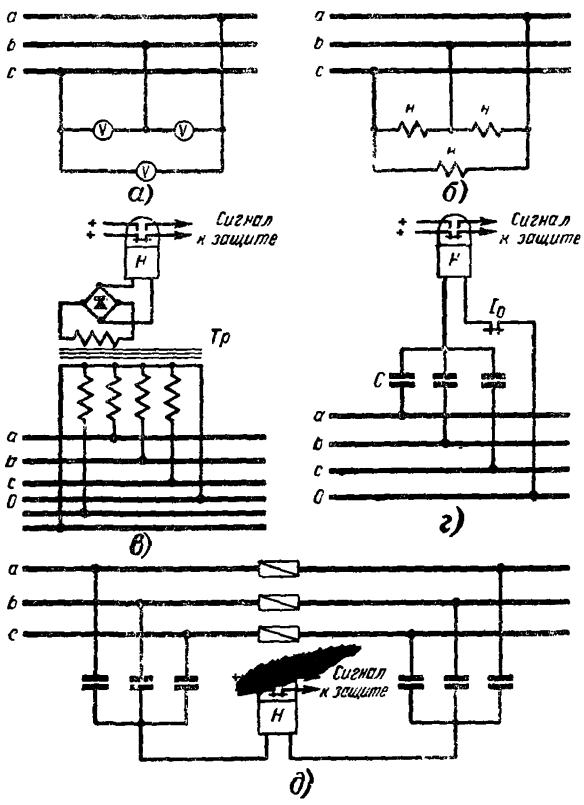
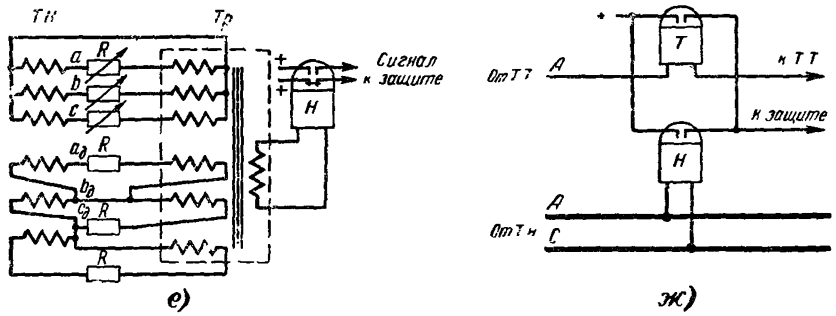
Схема	Пояснение
	Схема реагирует как на нарушение цепи одной фазы, так и на снятие трех фаз напряжения *(а)*
	Схема реагирует как на нарушение цепи одной фазы, так и на снятие трех фаз напряжения. Может действовать на сигнал и на автоматический вывод защиты *(б)*
	Применяются для сетей с заземленной нейтралью, реагируют на нарушение одной или двух фаз цепей напряжения. Могут действовать на сигнал или автоматический вывод защиты *(в* и *г)* T_0 — контакт токового реле нулевой последовательности
	Применяется для сетей с незаземленной нейтралью, реагирует на нарушение одной или двух фаз цепей напряжения. Может действовать на сигнал и автоматический вывод защиты *(д)*
	Применяется для ТН, имеющих две вторичные обмотки. Реагирует на нарушение одной или всех трех фаз одной из обмоток. Может действовать на сигнал и автоматический вывод защиты. Не действует при снятии напряжения со стороны высокого напряжения ТН *(е)*
	Контакты токового реле и реле напряжения подают плюс на защиту лишь при прохождении тока короткого замыкания больше тока срабатывания токового реле или при наличии напряжения 15—20% $U_{ном}$. Блокирует защиту при снятии трех фаз напряжения *(ж)*

Таблица 6-10

Схемы сигнализации и контроля исправности цепей напряжения обмоток трансформатора напряжения, соединенных по схеме разомкнутого треугольника

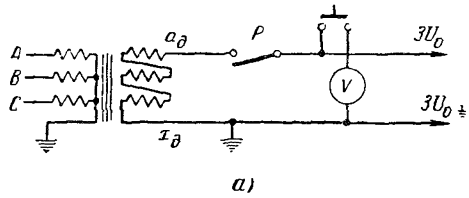
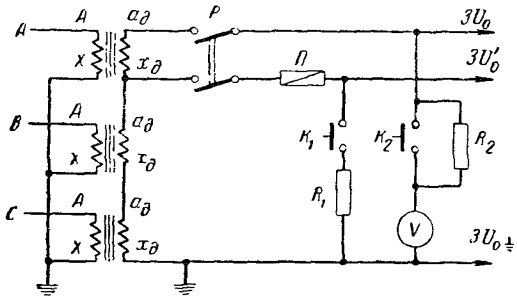
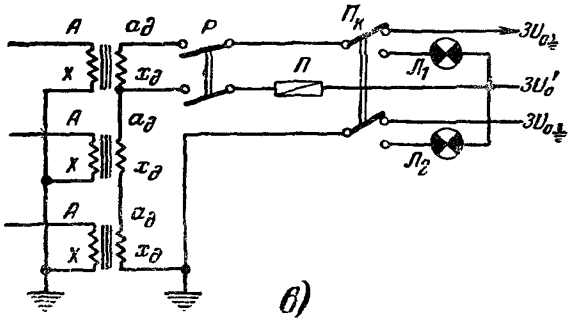
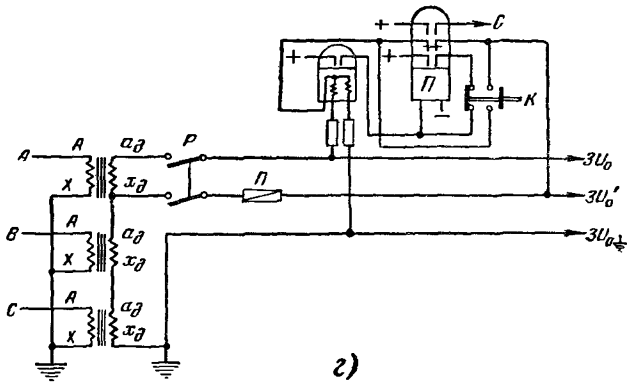
Схема	Пояснение
 а)	Периодический контроль по наличию напряжения небаланса на выходе разомкнутого треугольника
 б)	Периодический контроль по наличию напряжения небаланса. Кнопка K_1 включает дополнительную нагрузку R_1 на испытательный провод, что вызывает увеличение $U_{нб}$, повышая четкость отсчета, а также обеспечивает контроль исправности испытательной жилки
 в)	Периодический контроль по горению ламп
 г)	Автоматический контроль. Реле напряжения с двумя обмотками. Нормально контакт реле напряжения разомкнут. При обрыве одного из выводов разомкнутого треугольника реле срабатывает и подает сигнал. Кнопка *К* установлена для деблокирования схемы

Таблица 6-11

Тип ТН	Нагрузка	Класс точности
Двухобмоточные	Реле напряжения, сопротивления	Не ниже 3
	Реле мощности, частоты	По условию максимальной нагрузки ТН
Трехобмоточные	—	Не ниже 3 для каждой из вторичных обмоток

Полная нагрузка каждой фазы ТН в аварийном режиме определяется суммой нагрузки нормального режима и подсчитанного для всех устройств защиты и автоматики дополнительного увеличения нагрузки аварийного режима.

Нагрузка, замеренная для ТН, при данном напряжении U_2 приводится к номинальному значению напряжения $U_{2н}$:

$$I'_2 = I_2 \frac{U_{2н}}{U_2}, \qquad (6\text{-}43)$$

где I'_2 — приведенный к номинальному напряжению ток;
$U_{2н}$ — номинальное вторичное линейное напряжение ТН;
U_2, I_2 — замеренное линейное напряжение и ток нагрузки.

Для трехфазного ТН нагрузка на фазу определяется выражением

$$S'_ф = I'_2 \frac{U_{2н}}{\sqrt{3}}. \qquad (6\text{-}44)$$

Нагрузка на фазу обмоток ТН, соединенных в звезду, может быть определена как сумма нагрузок отдельных реле и приборов, подключенных к данным цепям напряжения.

Нагрузка на одну фазу ТН для схемы, приведенной на рис. 6-38, может быть определена следующим выражением:

$$S''_A = S'_{фA} + (0{,}58S'_{AB\,(макс)} + 0{,}42S'_{AC\,(мин)}), \qquad (6\text{-}45)$$

где S''_A — суммарная нагрузка фазы A ТН;
$S'_{фA}$ — фазная нагрузка фазы A, отнесенная к фазному напряжению;
$S'_{AB\,(макс)}$ и $S'_{AC\,(мин)}$ — соответственно большая и меньшая из двух линейных нагрузок (приведенная к линейному напряжению), подключенная к фазе A.

При $S_{AB} = S_{AC}$

$$S''_A = S'_{фA} + S_{AB}. \qquad (6\text{-}45а)$$

Для вторичных обмоток, соединенных по схеме разомкнутого треугольника, нагрузка также может быть определена измерением или расчетом. Измерение тока нагрузки производится при отключении обмотки одной из фаз или путем подачи напряжения на нагрузку от постороннего источника.

Результаты измерений должны быть пересчитаны на максимальное значение напряжения на разомкнутом треугольнике при однофазном замыкании на землю в сети.

$$I'_{р.т} = I_{р.т} \frac{U'_{р.т}}{U_{р.т}}, \qquad (6\text{-}46)$$

где $I_{р.т}$ и $U_{р.т}$ — замеренные токи и напряжения на нагрузке разомкнутого треугольника.

Для сети с заземленной нейтралью $U'_{р.т} = U_{ном.р.т}$ на фазу, а для сети с изолированной нейтралью $U'_{р.т} = 3U_{ном.р.т}$ на фазу. Мощность нагрузки вторичных обмоток, включенных в разомкнутый треугольник, равна:

$$S_{р.т} = I'_{р.т} U_{ном.р.т}. \qquad (6\text{-}47)$$

Нагрузка на одну фазу обмоток, соединенных в звезду или в разомкнутый треугольник, подсчитанная по (6-46) и (6-47), сопоставляется с номинальной мощностью на фазу соответствующего класса точности ТН.

Допустимая нагрузка на фазу ТН определяется по данным табл. 6-4 и формулам табл. 6-12.

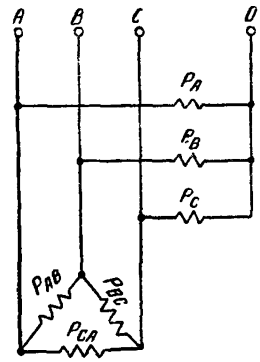


Рис. 6-38. Схема замещения цепей напряжения.

Таблица 6-12

Схема соединения ТН	Допустимая нагрузка на фазу
Звезда из однофазных ТН	$S_ф = S_н$
Открытый треугольник из двух ТН	$S_ф = \frac{S_н}{\sqrt{3}}$
Трехфазный ТН	$S_ф = \frac{S_н}{3}$

б) Определение потерь во вторичных цепях трансформаторов напряжения

Согласно ПУЭ (III-4-4, п. «б»), потери напряжения во вторичных цепях от ТН до нагрузки не должны превышать:

до расчетных счетчиков (нормальная нагрузка) — 0,5%;

до измерительных приборов (нормальная нагрузка) — 3%;

для устройств релейной защиты и автоматики (аварийная нагрузка) — 3%.

Потери напряжения подсчитываются по формуле

$$\Delta U\% = \frac{U_{ТН} - U_{нагр}}{U_{ТН}} \cdot 100\%, \qquad (6\text{-}48)$$

где $U_{ТН}$ — напряжение на выводах ТН;
$U_{нагр}$ — напряжение на нагрузке.

Напряжение следует измерять вольтметром, поочередно подключаемым на напряжение у выводов ТН и у наиболее удаленной панели измерительных приборов, счетчиков, защиты, автоматики.

в) Расчет токов короткого замыкания во вторичных цепях трансформаторов напряжения

Расчет токов короткого замыкания во вторичных цепях ТН выполняется для выбора предохранителей и автоматов.

При расчете допускаются следующие упрощения:

1) не учитывается реактивное сопротивление цепей, питающихся от ТН;

2) не учитываются различия импедансных углов сопротивлений ТН и их вторичных цепей.

Значение тока короткого замыкания подсчитывается по формуле

$$I_к = \frac{U_2}{k_1 z_к + k_2 r_{пр}}, \qquad (6\text{-}49)$$

где U_2 — вторичное линейное напряжение ТН;

$r_{пр}$ — активное сопротивление одного провода от ТН до места короткого замыкания;

k_1, k_2 — коэффициенты, зависящие от схемы соединения ТН и вида короткого замыкания, приведены в табл. 6-13;

$z_к$ — сопротивление ТН в омах, приведенное к стороне низкого напряжения, равное

$$z_к = \frac{u_к\% U_{2н}^2}{100S}, \qquad (6\text{-}50)$$

где $u_к\%$—напряжение короткого замыкания (см. табл. 6-4);

$U_{2н}$—номинальное напряжение вторичной обмотки ТН;

S—мощность ТН, к которой отнесена величина $u_к\%$, *ва*.

Для более точного определения тока короткого замыкания рекомендуется произвести измерения тока при искусственно устраиваемом в наиболее удаленной точке от ТН коротком замыкании.

На время искусственного короткого замыкания следует шунтировать предохранители и автоматы. Длительность короткого замыкания должна быть минимальной, обеспечивающей быстрый отсчет по прибору или запись осциллографом (не более 2—3 *сек*).

6-8. ВЫБОР ТОКА СРАБАТЫВАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ АВТОМАТОВ И НОМИНАЛЬНОГО ТОКА ПЛАВКИХ ВСТАВОК

Ток срабатывания автомата принимается в 1,2—1,5 раза больше максимальной нагрузки на фазу трансформатора напряжения. Минимальный ток короткого замыкания, определенный по (6-49) или замеренный опытным путем, должен быть в 2—3 раза больше тока срабатывания автомата.

Номинальный ток плавкой вставки выбирается согласно указаниям раздела 7.

Таблица 6-13

Коэффициенты для расчетов тока короткого замыкания во вторичных цепях трансформаторов напряжения

Схема включения трансформатора напряжения	Вид короткого замыкания	k_1	k_2	Примечание
Звезда-звезда с заземленными нулевыми точками	Трехполюсное	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$	
	Двухполюсное	2	2	
	Однополюсное	$\sqrt{3}$	$2\sqrt{3}$	
Открытый треугольник	Трехполюсное	1	$1+\sqrt{3}$	
	Двухполюсное	1	2	Максимальное значение тока к. з.
		2	2	Минимальное значение тока к. з.
Звезда с заземленной нулевой точкой—разомкнутый треугольник	Двухполюсное	$\sqrt{3}$	$2\sqrt{3}$	Максимальное значение тока к. з.
		$2\sqrt{3}$	$2\sqrt{3}$	Минимальное значение тока к. з.

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ

ЗАЩИТА СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 000 в

7-1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Защита сетей напряжением до 1 000 *в* осуществляется, как правило, предохранителями и автоматическими воздушными выключателями (автоматами).

Все аппараты, устанавливаемые для защиты сетей напряжением до 1 000 *в*, и параметры их настройки должны удовлетворять следующим основным требованиям:

1) отключать линию и другое оборудование при

Таблица 7-1

Сопротивление силовых трансформаторов

Мощность, *ква*	Напряжение, *кв*		$U_к$, %	Сопротивление, *ом*	
	первичное	вторичное		активное	реактивное
10	6—10	0,4 0,23	5,5	536 177,2	697,9 230,7
20	6—10	0,4 0,23	5,5	240 79,3	368,8 121,9
50	6—10	0,4 0,23	5,5	84,8 28,0	154,2 51,0
100	6—10	0,525 0,4 0,23	5,5	66,1 38,4 12,7	136,4 79,2 26,2
	35	0,525 0,4 0,23	6,5	66,1 38,4 12,7	166,5 96,7 32,0
180	6	0,525 0,4 0,23	5,5	34 19,8 6,53	77 44,7 14,8
180	10	0,525 0,4 0,23	5,5	34,9 20,2 6,69	76,6 44,5 14,7
180	35	0,525 0,4 0,23	6,5	34,9 20,2 6,69	93,2 54,1 8,53
320	6	0,525 0,4 0,23	5,5	16,3 9,48 3,14	44,5 25,8 8,53
	10	0,525 0,4 0,23	5,5	16,7 9,69 3,20	44,3 25,7 8,51
	35	0,525 0,4 0,23	6,5	16,7 9,69 3,20	53,4 31,0 10,3
560	6—10	0,525 0,4 0,23	5,5	8,26 4,79 1,58	25,8 15,0 4,95
	35	0,525 0,4 0,23	6,5	8,26 4,79 1,58	30,9 17,9 5,93
750	6—10	0,525 0,4	5,5	5,83 3,38	19,3 11,2
1 000	6—10	0,525 0,4	5,5	4,13 2,4	14,6 8,47
	35	0,525 0,4	6,5	4,13 2,4	17,4 10,1

Продолжение табл. 7-1

Мощность, *ква*	Напряжение, *кв*		$U_к$, %	Сопротивление, *ом*	
	первичное	вторичное		активное	реактивное
1 800	6—10	0,525 0,4	5,5	2,04 1,18	8,17 4,74
	35	0,525 0,4	6,5	2,04 1,18	9,74 5,65

Трансформаторы для питания собственных нужд электростанций

560	6,3	0,525 0,4 0,23	8	8,26 4,79 1.58	38,5 22,3 7,34
1 000	6,3	0,525 0,4	8	4,13 2,4	21,7 12,6

длительном прохождении опасных сверхтоков перегрузки с выдержкой времени обратно пропорциональной кратности перегрузки;

2) быстро и избирательно отключать линию и другое оборудование в случае прохождения сверхтоков при коротких замыканиях;

3) соответствовать электроустановке по номинальным параметрам, термической и динамической устойчивости.

7-2. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

а) Общие указания

При расчетах токов коротких замыканий в сетях напряжением до 1 000 *в* следует руководствоваться следующими основными положениями;

1) необходимо учитывать активные сопротивления элементов электроустановки и сети;

2) напряжение на выводах высокого напряжения питающего трансформатора можно считать постоянным;

3) не учитывать апериодическую составляющую тока короткого замыкания вследствие малой величины постоянной времени при условии

$$\frac{l}{s} > 0{,}5, \qquad (7\text{-}1)$$

где l — длина питающего кабеля, *м*;

s — сечение жил питающего кабеля, *мм²*.

б) Сопротивления элементов электроустановок и сетей

Сопротивления элементов электроустановок и сетей приведены в табл. 7-1—7-6.

в) Приближенное определение токов короткого замыкания по расчетным кривым

В большинстве случаев для проверки надежности и избирательности действия аппарата, а также устойчивости его к токам короткого замыкания можно ограни-

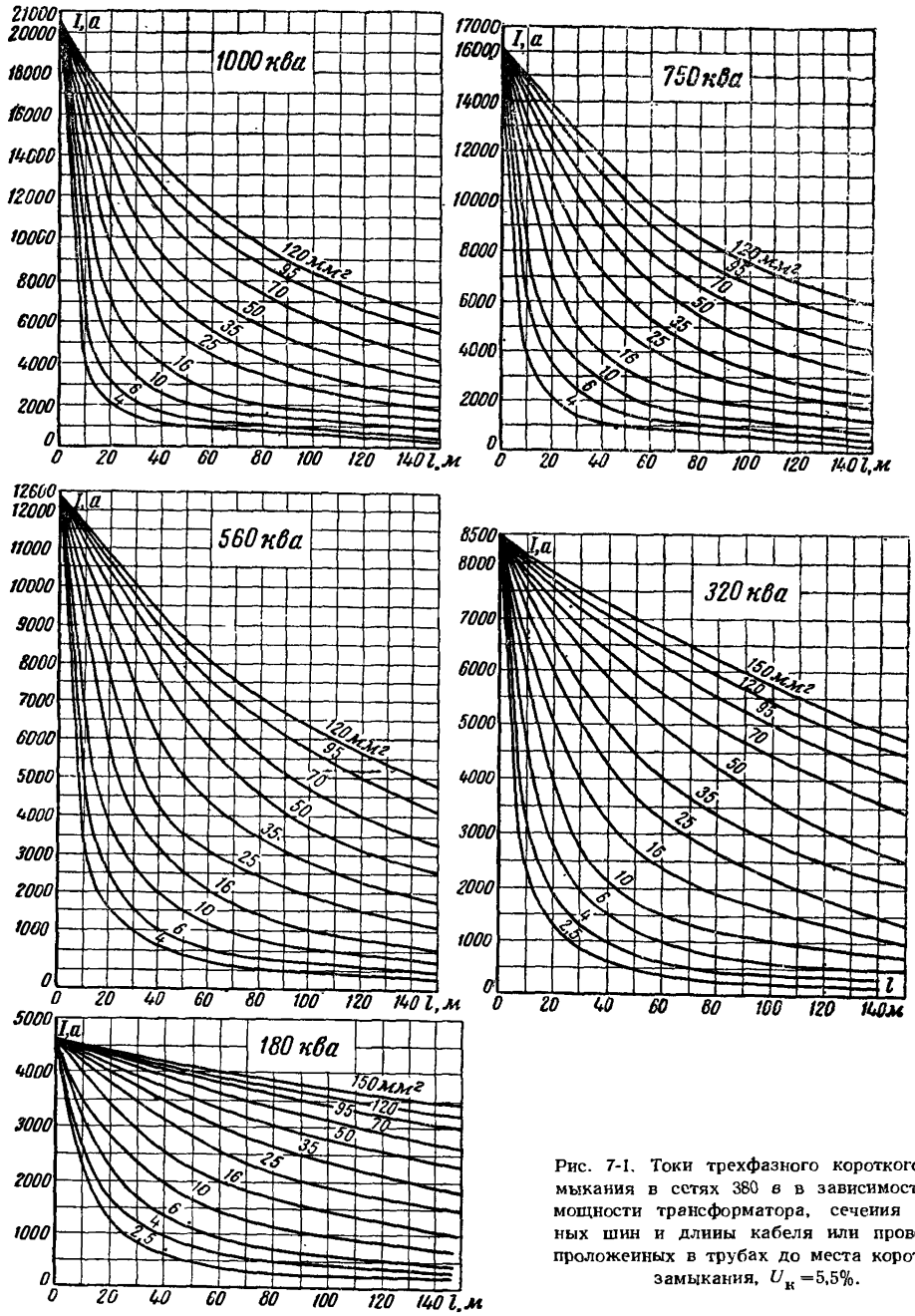


Рис. 7-1. Токи трехфазного короткого замыкания в сетях 380 в в зависимости от мощности трансформатора, сечения медных шин и длины кабеля или проводов, проложенных в трубах до места короткого замыкания, $U_к = 5{,}5\%$.

Таблица 7-2

Сопротивление трехжильных кабелей на 1 *м* длины

Сечение жилы, *мм*²	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Активное сопротивление *r*, *мом/м*	5,3	3,54	2,12	1,32	0,846	0,603	0,423	0,303	0,223	0,177	0,141	0,11
Реактивное сопротивление *x*, *мом/м*:												
для кабелей с бумажной изоляцией	0,092	0,086	0,081	0,076	0,074	0,072	0,070	0,069	0,067	0,067	0,067	0,0
для кабелей с резиновой изоляцией	0,101	0,095	0,092	0,090	0,088	0,084	0,081	0,078	0,077	0,076	0,075	0,0

Таблица 7-3

Сопротивление шин на 1 *м* длины

Сечение, *мм*²	Активное сопротивление, при t=65° С, *мом/м*		Реактивное сопротивление, *мом/м*, при среднегеометрическом расстоянии между фазами, *мм*			
	Медь	Алюминий	100	150	200	250
25×3	0,268	0,475	0,179	0,2	0,225	0,244
30×3	0,223	0,394	0,163	0,189	0,206	0,235
30×4	0,167	0,296	0,163	0,189	0,206	0,235
40×4	0,125	0,222	0,145	0,17	0,189	0,214
40×5	0,1	0,177	0,145	0,17	0,189	0,214
50×5	0,08	0,142	0,137	0,1565	0,18	0,2
50×6	0,067	0,118	0,137	0,1565	0,18	0,2
60×6	0,0558	0,099	0,1195	0,145	0,163	0,189
60×8	0,0418	0,074	0,1195	0,145	0,163	0,189
80×8	0,0313	0,055	0,102	0,126	0,145	0,17
80×10	0,025	0,0445	0,102	0,126	0,145	0,17
100×10	0,02	0,0355	0,09	0,1127	0,133	0,157
2(60×8)	0,0209	0,037	0,12	0,145	0,163	0,189
2(80×8)	0,0157	0,0277	—	0,126	0,145	0,17
2(80×10)	0,0125	0,0222	—	0,126	0,145	0,17
2(100×10)	0,01	0,0178	—	—	0,133	0,157

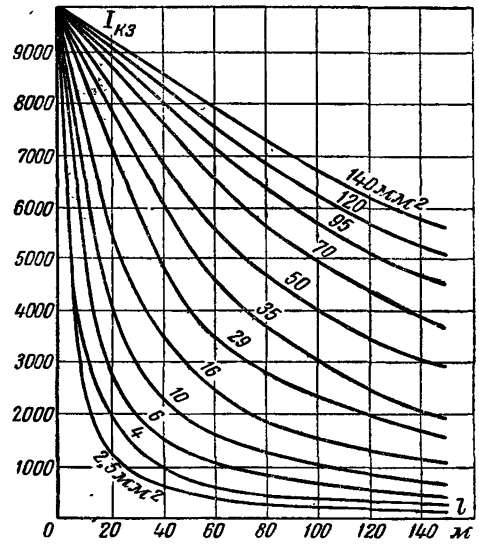


Рис. 7-2. Токи трехфазного короткого замыкания в сетях 380 *в* в зависимости от сечения медных жил и длины кабеля или проводов, проложенных в трубах до места короткого замыкания; мощность питающего трансформатора 560 *ква*, $U_к$=8%.

Таблица 7-4

Сопротивление первичных обмоток трансформаторов тока типа ТКФ

$I_н$, а	7,5	10	15	20	30	40	50	75	100	150	200	300	400	600
Сопротивление для ТКФ-1, *мом*:														
r	300	170	75	42	20	11	7	3	1,7	0,75	0,42	0,2	0,11	0,05
x	480	270	120	67	30	17	11	4,8	2,7	1,2	0,67	0,3	0,17	0,07
Сопротивление для ТКФ-3, *мом*:														
r	130	75	33	19	8,2	4,8	3,0	1,3	0,75	0,33	0,19	0,08	0,05	0,02
x	120	70	30	17	8	4,2	2,8	1,2	0,7	0,3	0,17	0,08	0,04	0,02

читься приближенной оценкой величины тока короткого замыкания.

Точные расчеты производятся лишь в случаях, когда приближенная оценка дает значения, близкие к допустимым пределам.

Приближенное определение величин токов трехфазного короткого замыкания можно произвести по кривым рис. 7-1—7-3.

При построении кривых мощность короткого замыкания на выводах высокого напряжения трансформатора принята равной 100 *ква* и учтен участок кабеля или шин длиной 5 *м* от выводов трансформатора до шин низшего напряжения.

Таблица 7-5

Сопротивление катушек автоматов максимального тока

$I_н$, *а*	50	70	100	140	200	400	600
x, *мом*	2,7	1,3	0,85	0,55	0,28	0,10	0,034
r при t=65° С, *мом*	5,5	2,35	1,3	0,74	0,36	0,15	0,12

3. Участок шинопровода можно также заменить эквивалентным участком кабеля того же сечения. Длина эквивалентного участка кабеля определяется умножением длины шинопровода на коэффициент K, величина которого определяется по кривым, приведенным на рис. 7-4.

4. Токи короткого замыкания при металлическом однофазном коротком замыкании на землю в сетях 380 *в* с заземленной нейтралью могут быть определены по кривым рис. 7-5 совместно с табл. 7-7.

5. Токи короткого замыкания для сетей 500 и 220 *в* могут быть определены по тем же кривым, что и для сетей 380 *в*. При этом полученные по кривым значения должны быть умножены на коэффициенты: при 500 *в* — 0,762, при 220 *в* — 1,73.

Таблица 7-6

Переходные сопротивления в контактах автоматов и рубильников

$I_н$, *а*	50	70	100	140	200	400	600	1 000
Автомат, *мом*	1,3	1,0	0,75	0,65	0,6	0,4	0,25	—
Рубильник, *мом*	—	—	0,5	—	0,4	0,2	0,15	0,08

При определении токов короткого замыкания по кривым нужно иметь в виду следующее:

1. Для кабелей и проводов с алюминиевыми жилами значения токов короткого замыкания могут быть определены по тем же кривым (рис. 7-1—7-3). Однако в этом случае необходимо при алюминиевом кабеле того же сечения увеличивать его длину в 1,7 раза или при алюминиевом кабеле той же длины уменьшать его сечение также в 1,7 раза.

2. Если кабель до места короткого замыкания состоит из участков разных сечений, их необходимо привести к одному сечению. Так, например, если имеются два участка кабеля длиной l_1, l_2 и сечением s_1, s_2 соответственно, нужно длину l_1 кабеля большего сечения s_1 заменить эквивалентной по электрическому сопротивлению длиной $l_э$ кабеля меньшего сечения согласно выражению

$$l_э = l_1 \frac{s_2}{s_1}. \qquad (7\text{-}2)$$

При этом расчетная длина кабеля составляет $l_э + l_2$ при сечении s_2.

Таблица 7-7

Значения кривых рис. 7-5

Номер кривой	Сечение медных жил питающей линии, *мм*²	Сечение заземленных конструкций или проводников в петле однофазного короткого замыкания, *мм*
1	3×120	Металлоконструкции здания
2	3×70	» »
3	3×120	Стальные полосы 2 (100×5)
4	3×95	2 (80×4)
5	3×50	2 (60×4)
6	3×35	1 (60×4)
7	3×25	1 (60×4)
8	3×16	1 (40×4)
9	3×70	1 (80×4)
10	3×120+1×50	Нулевая жила
11	3×70+1×35	» »
12	3×25+1×10	» »

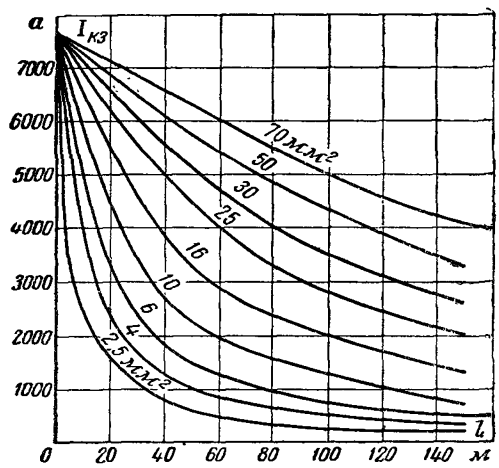


Рис. 7-3. Токи трехфазного короткого замыкания в сетях 500 *в* в зависимости от сечения медных жил и длины кабеля или проводов, проложенных в трубах до места короткого замыкания; мощность питающего трансформатора 560 *ква*, $U_к$=8%.

7-3. ЗАЩИТА ПЛАВКИМИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЯМИ

а) Параметры и установочные данные предохранителей

1. Параметры предохранителей разных типов, применяемых в сетях напряжением до 500 *в*, даны в табл. 7-8.

Предельная разрывная способность дана при cos φ = =0,3—0,4 и при номинальном токе плавкой вставки, равном номинальному току предохранителей.

2. Предохранители НПН и НПР

На рис. 7-6 и 7-7 даны габаритные и установочные размеры предохранителей типов НПН и НПР для переднего и заднего присоединений проводов.

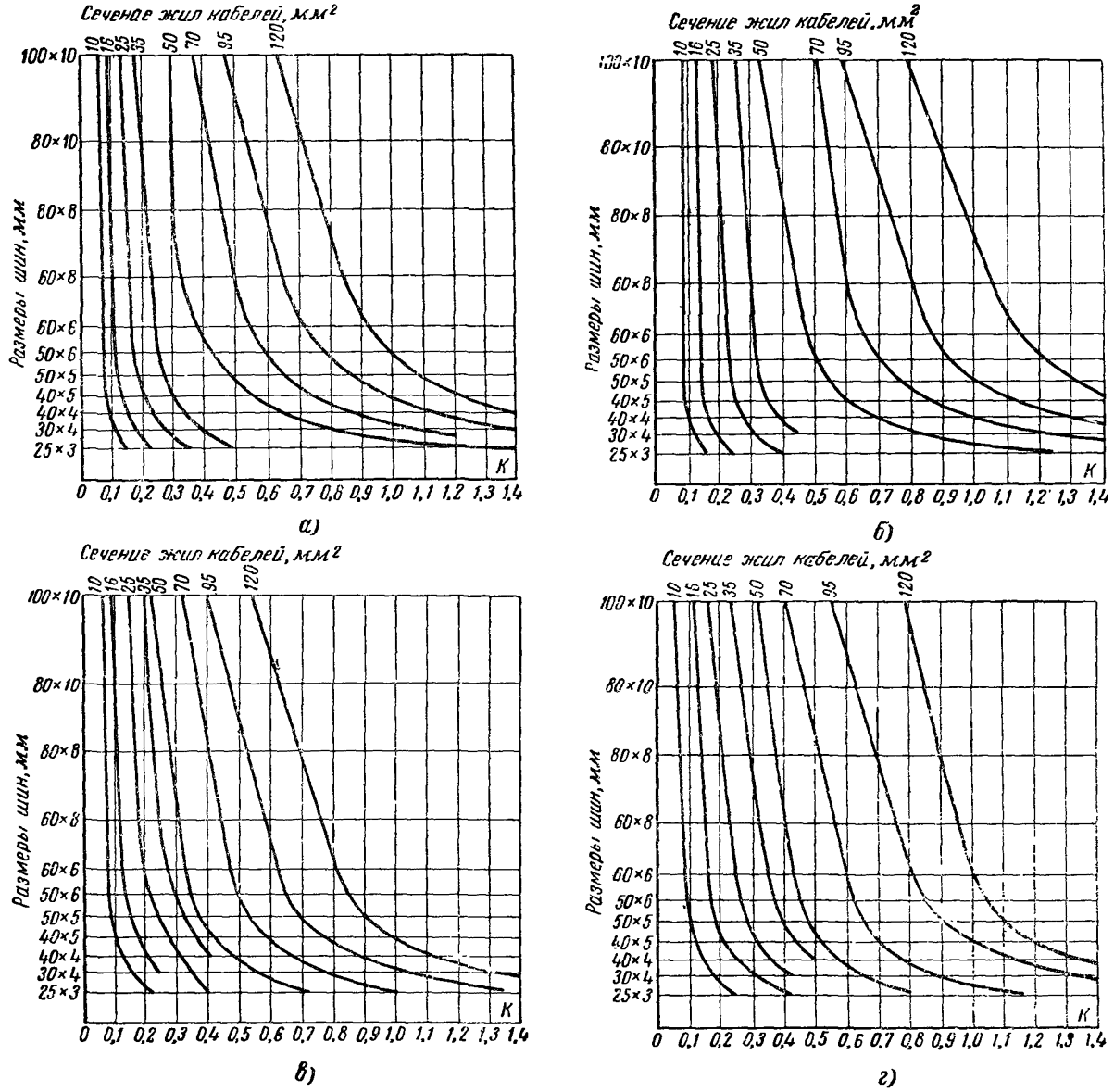


Рис. 7-4. Коэффициент K, на который надо умножить фактическую длину шинопровода, чтобы найти длину трехжильного кабеля (или проводов в трубах), эквивалентного шинопроводу по сопротивлению.

Металл	а	б	в	г
Шин Жил кабеля	Алюминий »	Алюминий Медь	Медь Алюминий	Медь »

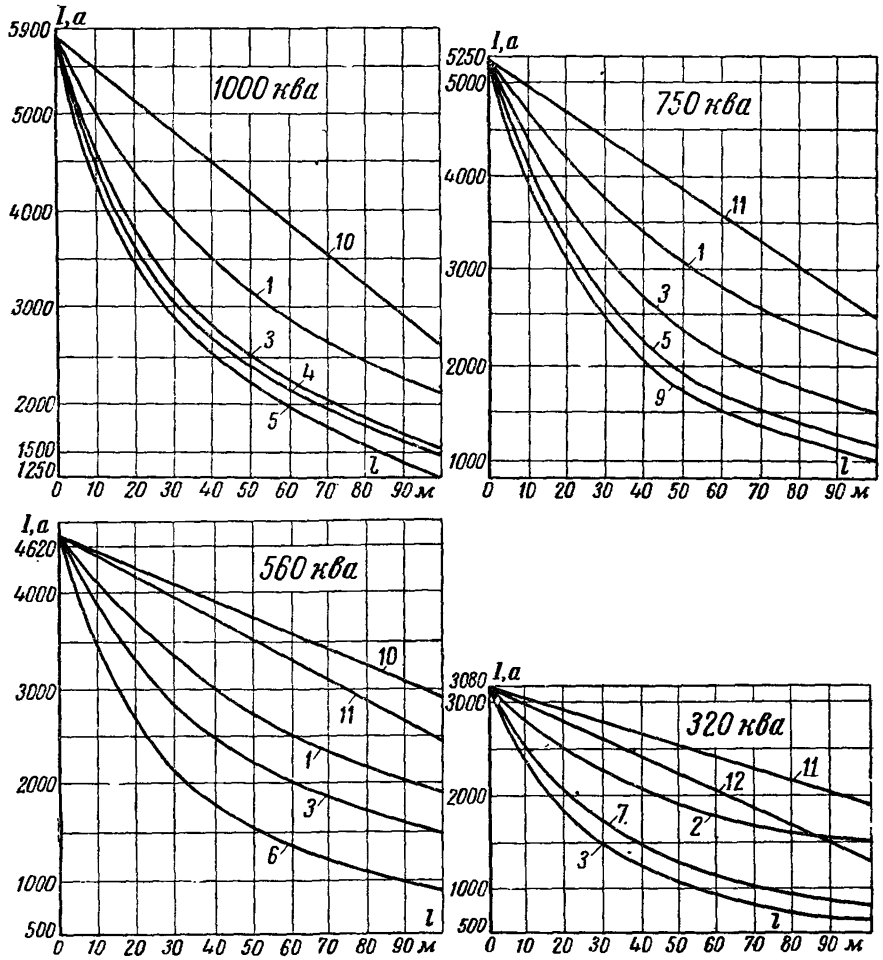


Рис. 7-5. Токи одиофазного короткого замыкания в сетях 380 *в* с заземленной нейтралью в зависимости от мощности трансформатора, длины и сечений питающих линий, типа и сечения заземлеиных конструкций (табл. 7-7).

Таблица 7-8

Параметры предохранителей разных типов

Тип	$U_н$, в	$I_н$, а		$I_{наиб.откл}$ (действующее значение), а				$I_{наиб.пров}$ (мгновенное значение), а
		предохранителей	плавких вставок	Исполнение 1		Исполнение 2		
				при напряжении, в				
				220	380	380	500	
НПН-15	Только одно исполнение до 500 в переменного тока	15	6, 10, 15	—	—	—	10 000	3 000
НПН-60		60	15, 20, 25, 35, 45, 50	—	—	—	5 000	5 000
НПР-100		100	60, 80, 100	—	—	—	10 000	11 500
НПР-200		200	100, 125, 160, 200	—	—	—	10 000	11 500
НПР-400		400	200, 250, 300, 350, 400	—	—	—	До 25 000	26 500
ПНР	Два исполнения до 500 в переменного тока	40	6, 10, 15, 20, 25, 30, 40	—		—	—	—
		100	30, 40, 50, 60, 80, 100	—		28 000	25 000	15 200
		250	80, 100, 120, 150, 200, 250	—		28 000	25 000	21 600
		400	200, 250, 300, 400	—		28 000	25 000	35 300
		600	300, 400, 500, 600	—		—	—	—
ПР-1	Исполнение 1 — 250 в постоянного и переменного тока	15	6, 10, 15	1 200	600	—	1 200	—
		60	15, 20, 25, 35, 60	3 500	3 000	—	3 500	—
		100	60, 80, 100	10 000	6 000	—	10 000	—
		200	100, 125, 160, 200	10 000	6 000	—	10 000	—
	Исполнение 2 — 500 в постоянного и переменного тока	350	200, 225, 260, 300, 350	12 000	—	—	12 000	—
		600	350, 430, 500, 600	12 000	—	—	12 000	—
		1 000	600, 700, 850, 1 000				12 000	—
ПР-2	Исполнение 1 — 220 в постоянного и переменного тока	15	6, 10, 15	1 200	800	8 000	7 000	—
		60	15, 20, 25, 35, 60	5 500	1 800	4 500	3 500	—
		100	60, 80, 100	14 000	6 000	11 000	10 000	—
		200	100, 125, 160, 200	14 000	6 000	11 000	10 000	—
	Исполнение 2 — 500 в постоянного и переменного тока	350	200, 225, 260, 300, 350	11 600	6 000	13 000	11 000	—
		600	350, 430, 500, 600	15 000	13 000	23 000	20 000	—
КП-25	Только одно исполнение до 500 в переменного тока	25	6, 10, 15, 20, 25	—	—	—	15 000	—
КП-60		60	10, 15, 20, 25, 35, 45, 60	—	—	—		—
КП-100		100	10, 15, 20, 25, 35, 45, 60, 80, 100	—	—	—		—
КП-200		200	60, 80, 100, 125, 160, 200	—	—	—		—
КП-350		350	200, 225, 260, 300, 350	—	—	—		—
КП-600		600	430, 500, 600	—	—	—		—
ПД-I	Исполнение 350 в постоянного тока и 380 в переменного тока	6	6	—	1 000	—	—	—
ПД-II		20	10, 15, 20	—	2 000	—	—	—
ПД-III		60	25, 35, 60	—	5 000	—	—	—
ПД-IV		125	80, 100, 125	—	7 500	—	—	—
ПД-V		225	160, 200, 225	—	10 000	—	—	—
ПД-VI		350	260, 300, 350	—	12 500	—	—	—
ПД-VII		600	430, 500, 600	—	15 000	—	—	—

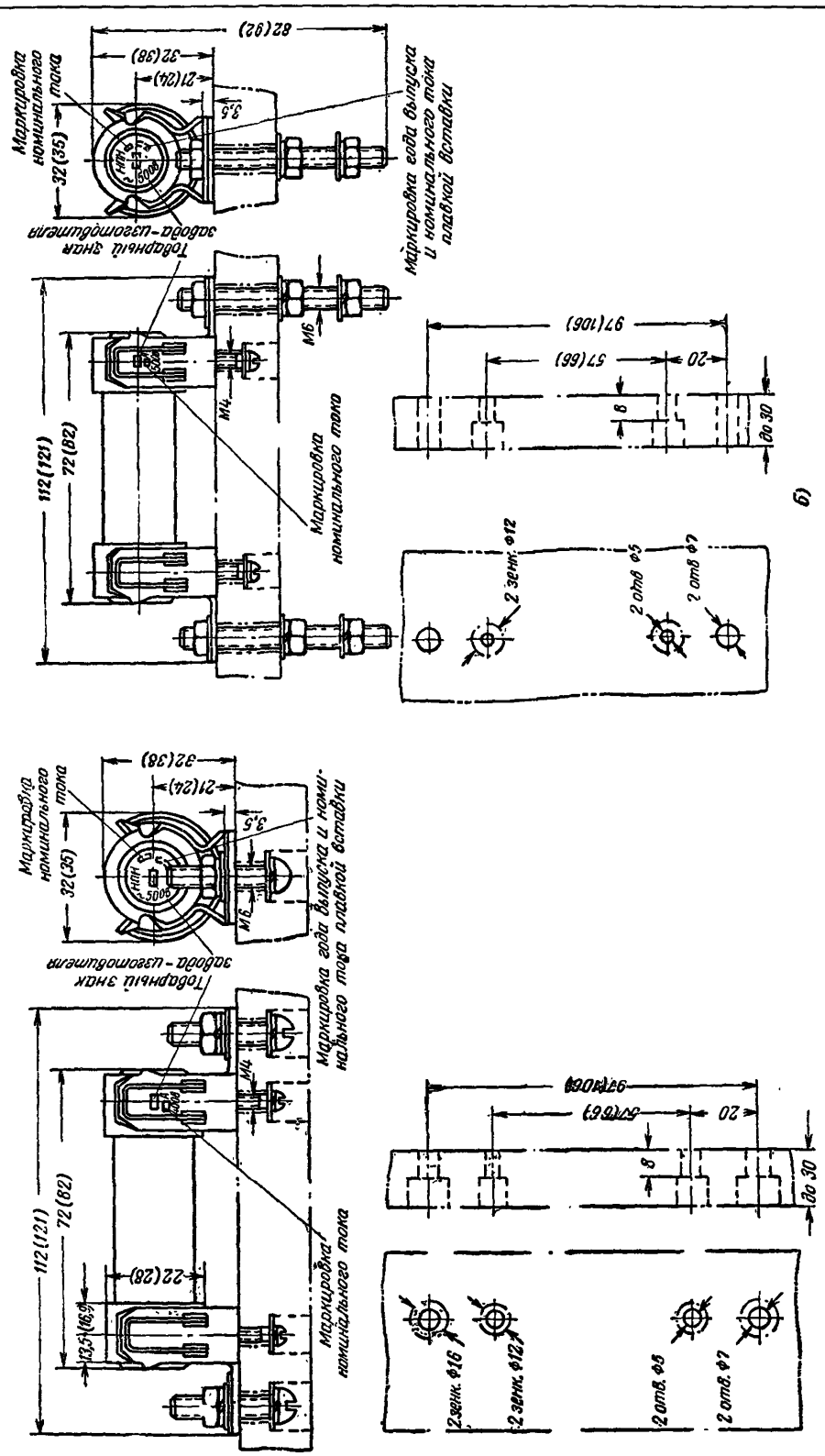


Рис 7-6. Габаритные и установочные размеры предохранителя типа НПН (размеры до скобок относятся к НПН-15, а в скобках — к НПН-60).

а — с передним присоединением проводников; б — с задним присоединением проводников.

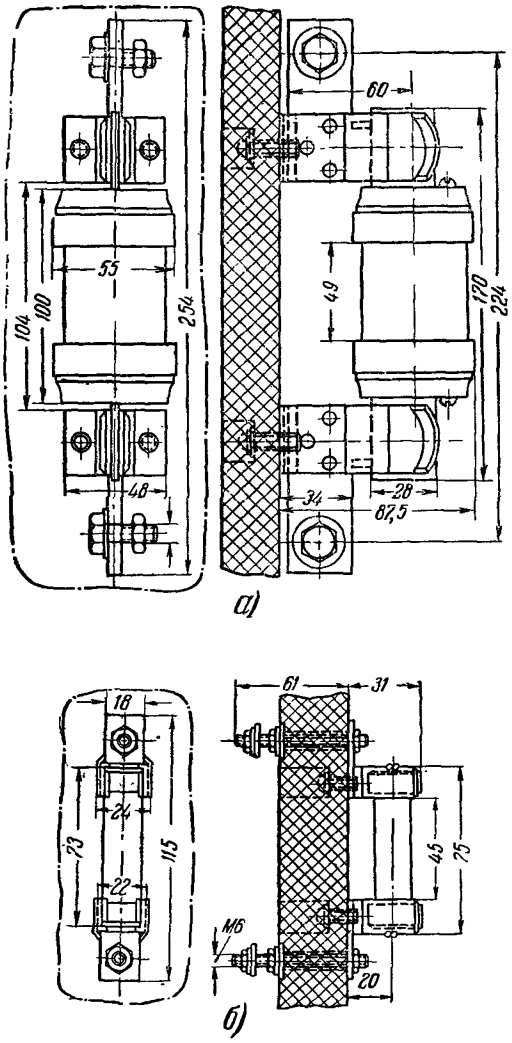


Рис. 7-7. Габаритные и установочные размеры предохранителя типа НПР-200.
а — с передним присоединением проводников; *б* — с задним присоединением проводников.

Предохранители типа НПН рассчитаны для работы при высоте над уровнем моря не более 1 000 *м* и температуре окружающей среды — 40÷+35° С.

Предохранители не предназначены для работы при тряске, вибрациях или ударах в среде токопроводящих или химически активных газов, испарений и осадков в особо сырых помещениях.

В табл. 7-9 приведены данные о калибровке плавких вставок для предохранителей типа НПН.

Плавкие вставки не должны плавиться при нижнем значении, а должны плавиться при верхнем значении испытательного тока.

3. Предохранители ПНР.

На рис. 7-8, 7-9 и в табл. 7-10 и 7-11 приведены основные данные, габаритные и установочные размеры предохранителей типа ПНР.

4. Предохранители ПР-2

Установочные и габаритные размеры предохранителей типа ПР-2 даны на рис. 7-10—7-13 и в табл. 7-12—7-15.

Таблица 7-9

Испытательные токи предохранителей типа НПН

$I_н$, *а*	Длительность приложения испытательного тока, *ч*	Испытательный ток	
		Нижнее значение	Верхнее значение
6, 10	1	1,5 $I_н$	2,1 $I_н$
15, 20, 25	1	1,4 $I_н$	1,75 $I_н$
35, 45, 60	1	1,3 $I_н$	1,6 $I_н$

Таблица 7-10

Размеры предохранителей типа ПНР

Размер	Переднее присоединение			Заднее присоединение		
	Размеры, *мм*			Размеры, *мм*		
	ПНР-100	ПНР-250	ПНР-400	ПНР-100	ПНР-250	ПНР-400
L	190	241	242	147	167	167
L_1	142	142	142	142	142	142
b_1	53	64	80	53	64	80
h_1	80,5	106	111,5	80,5	106	106,5
l	112	122	122	112	122	122

Предохранители типа ПР-2 предназначены для защиты сетей низкого напряжения от недопустимых длительных перегрузок и от коротких замыканий.

По номинальному напряжению предохранители подразделяются на два исполнения: 1-е исполнение — имеющие маркировку 220 *в*, устанавливаются в электрических цепях 220 и 380 *в* и 2-е исполнение — имеющие маркировку 500 *в*, устанавливаются в электрических цепях 380 и 500 *в*. При использовании в сетях 380 *в* предохранителей 1-го исполнения они могут работать с пониженной разрывной способностью, а предохранители 2-го исполнения — с повышенной разрывной способностью (табл. 7-8).

По расположению зажимов для присоединения подводящих проводов или шин предохранители выпускаются с передним и задним присоединениями.

Предохранители поставляются, как правило, без изоляционных плит, но по заказу могут быть установлены и на плите в однополюсном исполнении.

Предохранители рассчитаны на работу при температуре окружающего воздуха —20÷+35° С и относительной влажности воздуха до 70%.

Аналогично другим типам плавкие вставки предохранителей ПР-2 откалиброваны так, что они не плавятся при нижнем значении, а плавятся при верхнем значении испытательного тока при длительностях его приложения, указанных в табл. 7-16.

5. Предохранители КП

Установочные и габаритные размеры предохранителей типа КП даны на рис. 7-14 и в табл. 7-17.

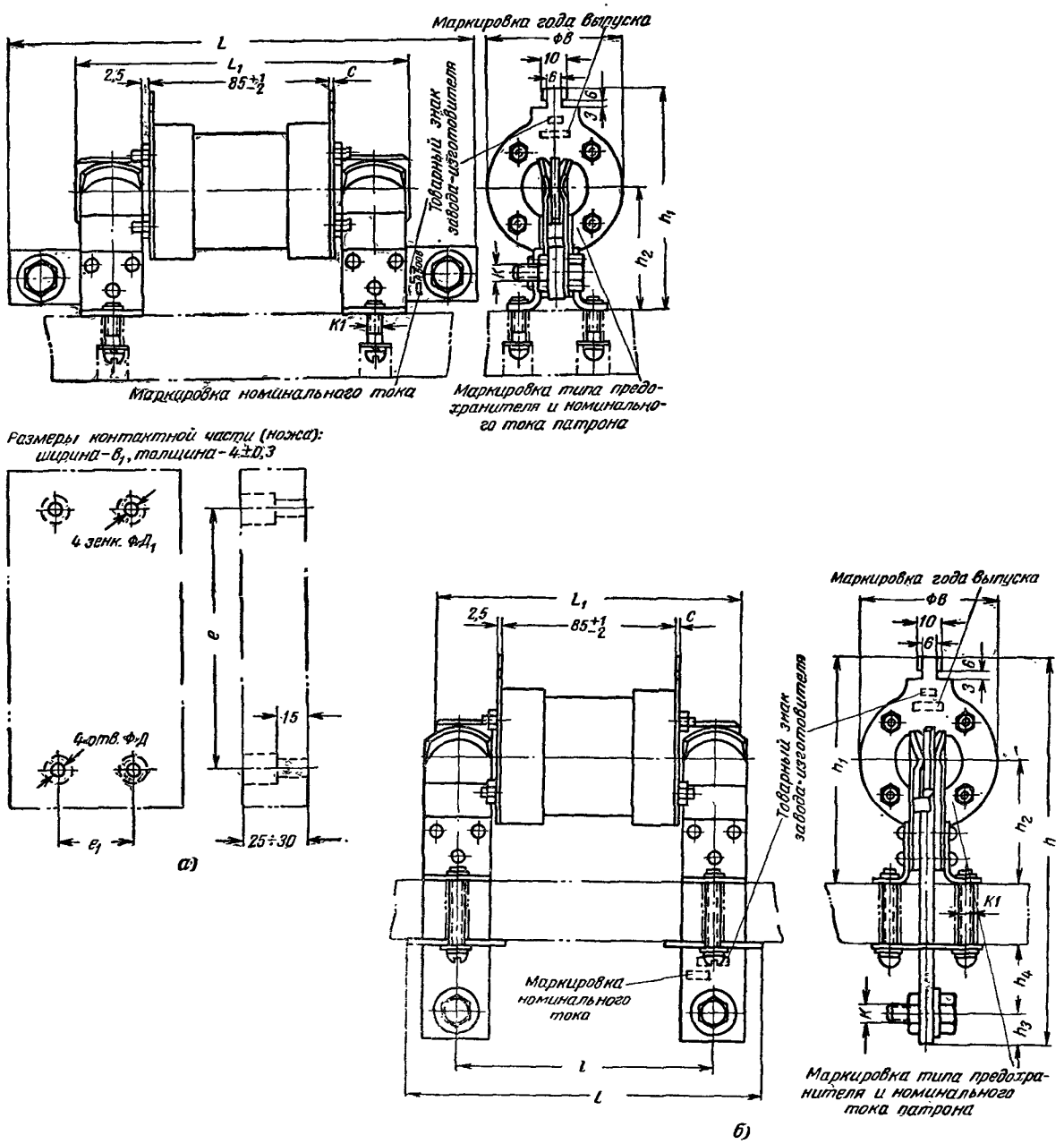


Рис. 7-8. Габаритные и установочные размеры предохранителя типа ПНР.
а — с передним присоединением проводников; *б* — с задним присоединением проводников.

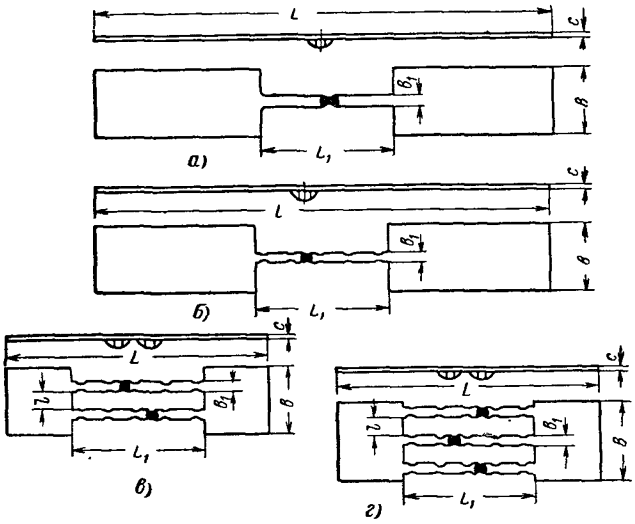


Рис. 7-9. Плавкие вставки предохранителей типа ПНР. (к табл. 7-11).

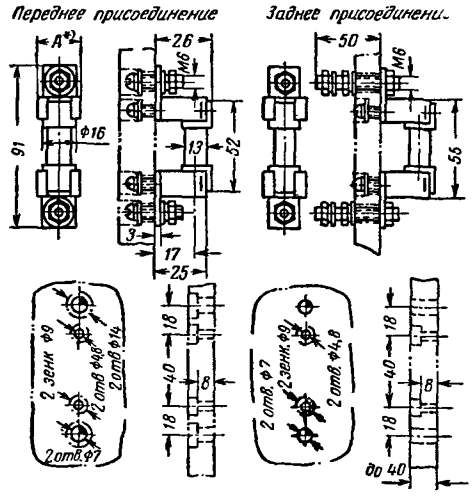


Рис. 7-10. Габаритные и установочные размеры предохранителей ПР-2 на 15 *а*, 220 *в* (I габарит).

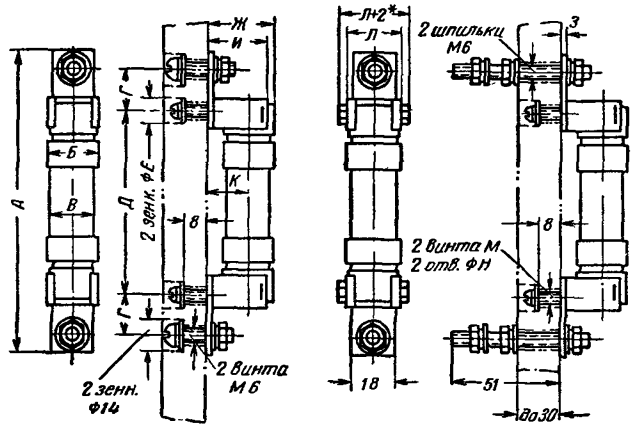
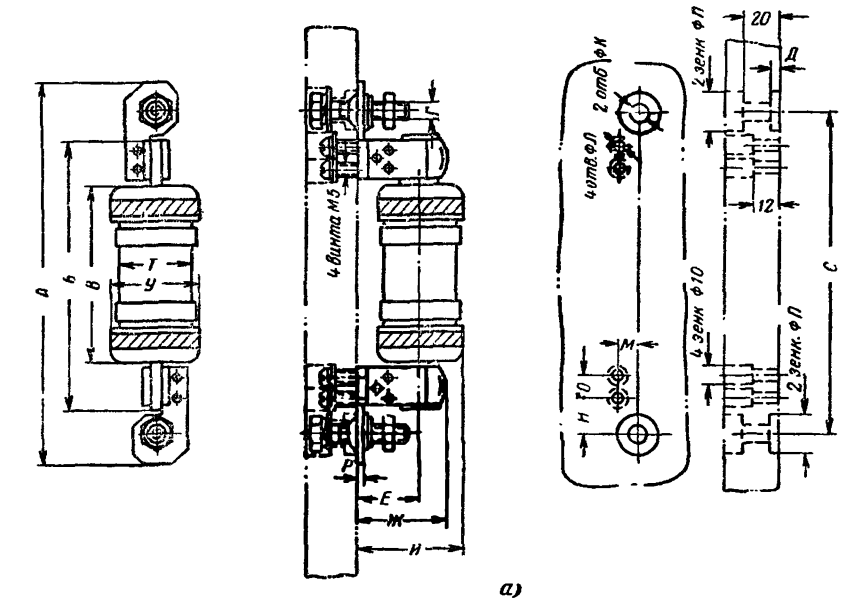
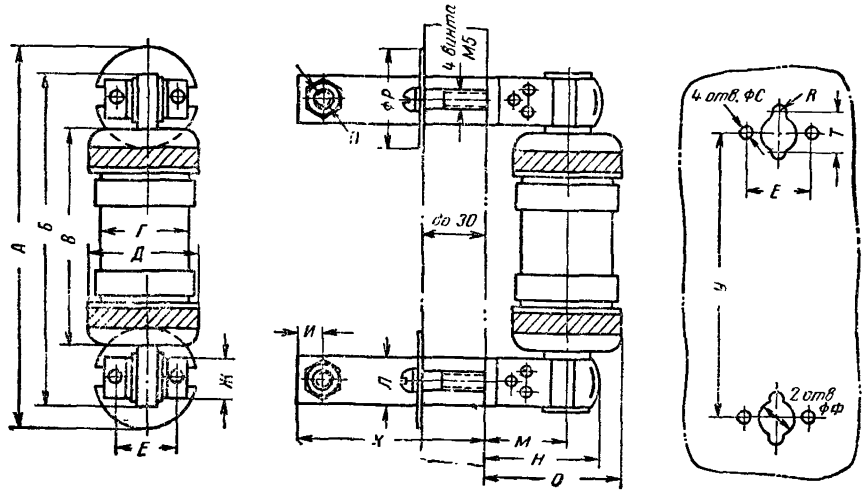


Рис. 7-11. Габаритные и установочные размеры предохранителей ПР-2 на 15 *а* (II габарит) и на 60 *а* (I и II габариты).



а)



б)

Рис. 7-12. Габаритные и установочные размеры предохранителей ПР-2 на 100, 200 и 350 *а*.
а — переднее присоединение проводников; *б* — заднее присоединение проводников.

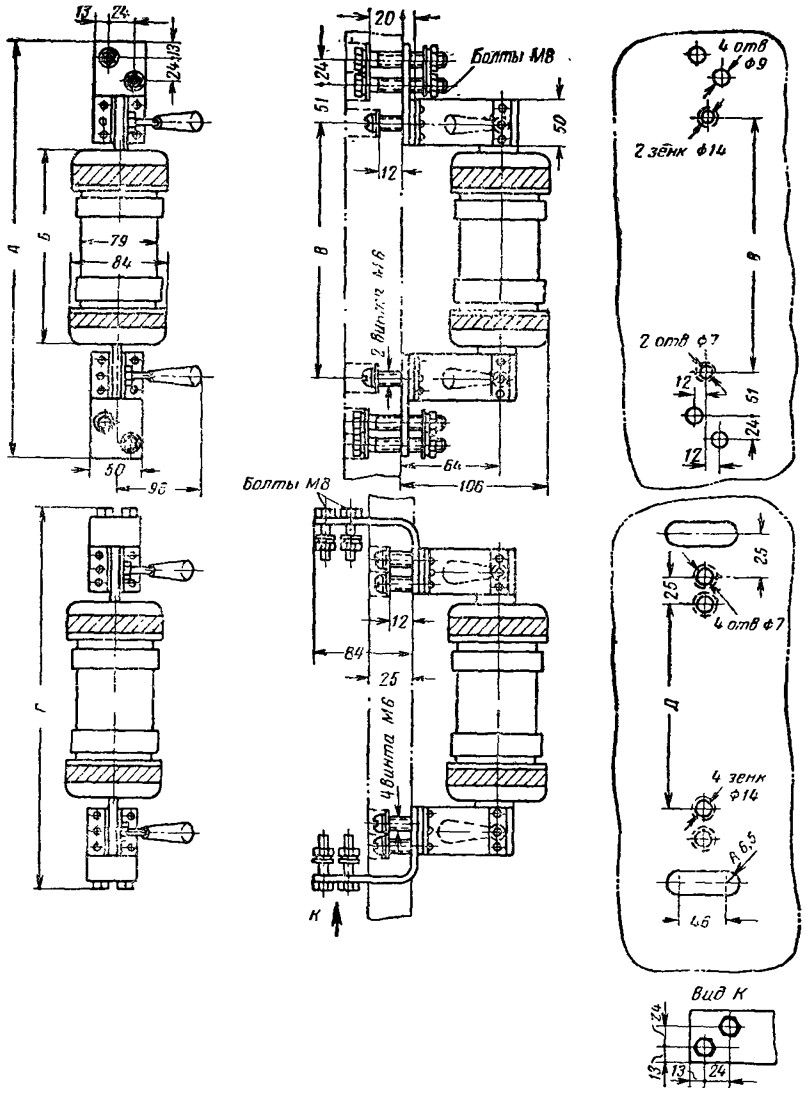


Рис. 7-13. Габаритные и установочные размеры предохранителей ПР-2 на 600 *а*.

Таблица 7-11

Основные данные предохранителей типа ПНР

$I_н$ плавкой вставки, *а*	Количество элементов в плавкой вставке, шт.	Исполнение элементов плавкой вставки (рис. 7-9)	Размеры элемента плавкой вставки (из медной ленты М1), *мм*					
			L	L_1	*b*	b_1	*l*	*c*
			Тип ПНР-100					
30	1	*а*	230	70	15,7	2	—	0,15
40	1	*б*	230	70		3,5	—	0,15
50	1	*б*	230	70		3,3	—	0,2
60	2	*в*	158	68		1,2	9	0,15
80	2	*в*	158	68		2	9	0,15
100	2	*в*	158	68		2,5	9	0,15
			Тип ПНР-250					
80	2	*в*	158,5	68	27,7	2	9	0,15
100	2	*в*				2,5	9	0,15
120	2	*в*				3	10	0,15
150	2	*г*				2,5	8	0,15
200	2	*г*				3	8	0,2
250	2	*г*				2,7	9	0,2
			Тип ПНР-400					
200	2	*г*	179	68	39,7	3	8	0,2
250	2	*г*				2,7	9	0,3
300	2	*г*				3,3	10	0,3
600	2	*г*				3,5	8	0,3

Таблица 7-12

Размеры предохранителей ПР-2 на 15 *а* II габарита и на 60 *а* I и II габаритов

$I_н$, *а*	Габарит	*U*, *в*	Размеры, *мм*											
			А	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*	*Ж*	*И*	*К*	*Л*	*М*	*Н*
60	I	220	121	24,5	23	20	63	9	33	31	21	24,5	4	4,8
15	II	500	171	24,5	23	20	113	9	33	31	21	24,5	4	4,8
60	II	500	173	30,5	29	20	115	11	43	38	27	31	5	5,5

Таблица 7-13

Размеры предохранителей ПР-2 на 100, 200 и 350 *а* (переднего присоединения)

$I_н$, *а*	Размеры, *мм*																
	А	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*	*Ж*	*И*	*К*	*Л*	*М*	*Н*	*О*	*П*	*Р*	*С*	*Т*	*У*
	I габарит (маркировка 220 *в*)																	
100	195	150	93	М8	4	41	52	63	9	5,5	9	19	12	15	3	175	38	43
200	205	160	106	М8	5	47	53	75	9	5,5	9,5	19	12	15	3	185	52	56
350	270	195	121	М10	5	61	71	97	11	5,5	10	28	20	17	4	236	67	72
	II габарит (маркировка 500 *в*)																	
100	245	200	148	М8	4	41	52	63	9	5,5	9	19	12	15	3	225	38	43
200	270	225	171	М8	5	47	53	75	9	5,5	9,5	19	12	15	3	250	52	56
350	345	271	190	М10	5	61	71	97	11	5,5	10	28	20	17	4	311	67	72

Примечание. В различных экземплярах нижние отверстия *Л* могут быть расположены вправо от оси (на расстоянии *М*), а не влево.

Таблица 7-14

Размеры предохранителей ПР-2 на 100, 200 и 750 *а* (заднее присоединение)

$I_н$, *а*	Размеры, *мм*																						
	для 220 *в*				для 500 *в*				общие размеры (для 220 и 500 *в*)														
	А	*Б*	*В*	*У*	*А*	*Б*	*В*	*У*	*Г*	*Д*	*Е*	*Ж*	*И*	*К*	*Л*	*М*	*Н*	*О*	*П*	*Р*	*С*	*Т*	*R*	*Ф*
100	159	150	98	125	209	200	148	175	38	43	25,5	20	10	60	20	41	52	63	M8	34	6	16	3	15
200	169	160	106	135	234	225	171	200	52	56	25,5	20	10	60	20	46	52	74	M8	34	6	16	3	15
350	200	196	121	160	281	271	196	235	67	72	33	30	13	70	30	62	72	98	M10	46	7	25	3,5	22

Таблица 7-15

Размеры предохранителей ПР-2 на 600 *а*

Габарит	Размеры, *мм*				
	А	*Б*	*В*	*Г*	*Д*
I габарит (220 *в*)	367	147	193	305	184
II габарит (550 *в*)	442	222	268	380	259

б) Выбор предохранителей

1. Номинальное напряжение плавкой вставки должно удовлетворять условию

$$U_{вс.н} \geqslant U_с, \qquad (7\text{-}3)$$

где $U_с$ — напряжение сети, в которой устанавливается плавкая вставка.

2. Предельно отключаемый ток плавкой вставки должен удовлетворять условию

$$I_{вс.пр} > I_{к.з.макс}, \qquad (7\text{-}4)$$

где $I_{к.з.макс}$ — максимальный ток короткого замыкания, протекающий в цепи, защищаемой предохранителем.

3. Номинальный ток плавкой вставки выбирается по формуле

Таблица 7-16

Испытательные токи предохранителей типа ПР-2

$I_н$, *а*	Длительность приложения испытательного тока, *ч*	Испытательный ток	
		Нижнее значение	Верхнее значение
6, 10	1	1,5 $I_н$	2,1 $I_н$
15, 20, 25	1	1,4 $I_в$	1,75 $I_н$
35—350	1	1,3 $I_в$	1,6 $I_н$
430—1 000	2	1,3 $I_н$	1,6 $I_н$

$$I_{вс.в} = k_н I_{наг.макс}, \qquad (7\text{-}5)$$

где $I_{наг.макс}$ — максимальный длительный ток нагрузки;
$k_н$ — коэффициент надежности, величина которого зависит от характера нагрузки.

При постоянной нагрузке $k_п = 1{,}1—1{,}2$; при переменной нагрузке (например, электродвигатели, потребляющие при пуске и самозапуске ток, значительно превышающий номинальный) $k_н = 2—2{,}5$. При выборе плавкой вставки для электродвигателей в (7-5) подставляется номинальный ток электродвигателя $I_н$.

Таблица 7-17

Размеры предохранителей типа КП

Тип предохранителя	Исполнение контактных ножей	$I_н$, *а*		Размеры, *мм*					
		патрона	вставки	патрона			патрона в контактных стойках		
				Длина	Ширина	Высота	Длина	Ширина	Высота
КП-25	Без ножей	25	6, 10, 15, 20, 25	51	14	14	64	32	45
КП-60	„ „	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	76	28	28	116	34	46
КП-100	Боковые	100	60, 80, 100	116	34	61	185	40	97
	Торцовые	100	60, 80, 100	119	32	50	185	40	82
КП-200	Боковые	200	100, 125, 160, 200	180	55	93	295	66	153
	Торцовые	200	100, 125, 160, 200	180	54	76	295	66	122
КП-350	Боковые	350	200, 225, 260, 300, 350	180	55	93	295	66	153
	Торцовые	350	200, 225, 260, 300, 350	180	54	76	295	66	122
КП-600	Боковые	600	430, 500, 600	202	76	132	295	66	185
	Торцовые	600	430, 500, 600	205	75	106	295	66	143

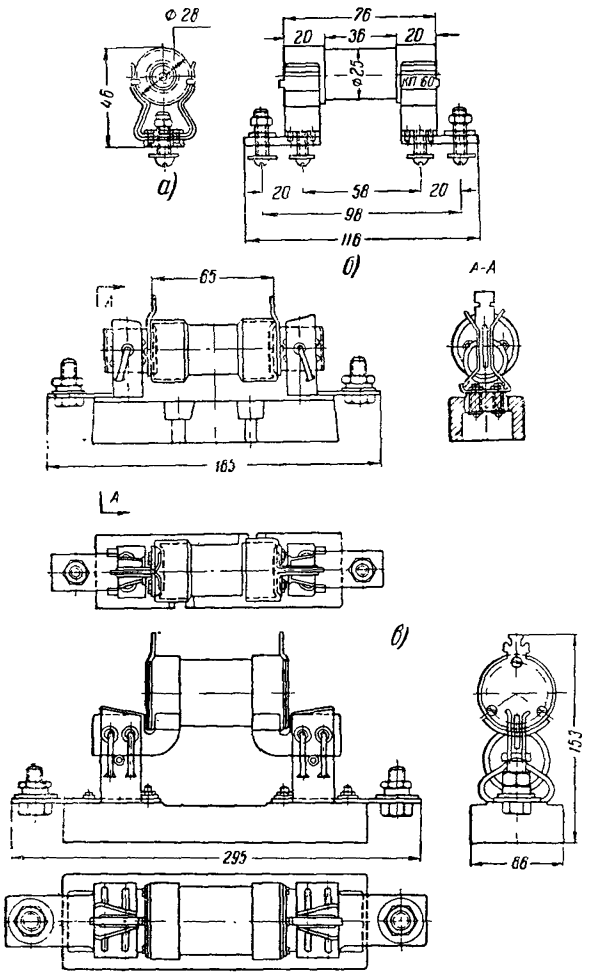


Рис. 7-14. Предохранитель закрытого типа КП с заполнителем в виде кварцевого песка на напряжение 500 *в*.
а — КП-60; *б* — КП-100 с торцовыми ножами; *в* — КП-350 с боковыми ножами.

Вторым условием, определяющим номинальный ток плавкой вставки, является отстройка от тока перегрузки:

$$I_{\text{вс.ном}} = \frac{I_{\text{пер}}}{k_{\text{п}}}, \qquad (7\text{-}6)$$

где $k_{\text{п}}$ — коэффициент перегрузки, равный:

при времени перегрузки 2—3 *сек* (легкие условия) $k_{\text{п}}=2{,}5$;

при времени перегрузки 10 *сек* (тяжелые условия) $k_{\text{п}}=1{,}5$—2.

При частых пусках электродвигателей с легкими условиями выбор плавкой вставки производят по коэффициенту $k_{\text{п}}$ для тяжелых условий.

Рассмотренный метод выбора номинального тока плавкой вставки по известному току перегрузки не учитывает особенностей конструкции предохранителей, в частности их инерционности.

В табл. 7-18 приведены коэффициенты $k_{\text{п}}$ для выбора номинального тока плавкой вставки для защиты электродвигателей, учитывающие тип предохранителей.

4. В жилых домах, бытовых и общественных помещениях, т. е. там, где сети не находятся постоянно под наблюдением квалифицированного персонала, плавкие вставки должны удовлетворять условию

$$I_{\text{вс.н}} = 0{,}8I_{\text{доп.пров}}, \qquad (7\text{-}7)$$

где $I_{\text{доп.пров}}$ — длительно допустимый ток провода.

5. Для надежного отключения коротких замыканий плавкие вставки должны удовлетворять следующим условиям.

При установке на защищаемом присоединении магнитных пускателей, не рассчитанных на отключение токов короткого замыкания,

$$I_{\text{вс.п}} = \frac{I_{\text{к.з}}}{20-25}; \qquad (7\text{-}8)$$

при отсутствии магнитных пускателей

$$I_{\text{вс.н}} = \frac{I_{\text{к.з}}}{10} \qquad (7\text{-}8\text{а})$$

(характеристики плавких вставок для предохранителей разных типов приведены в табл. 7-8).

в) Проверка селективности плавких вставок

1. *Проверка селективности — по характеристикам* $t=f(I)$.

Типовые характеристики плавких вставок предохранителей НПН и НПР приведены на рис. 7-15, а ПНР — на рис. 7-16.

При пользовании типовыми характеристиками следует учитывать, что действительное время сгорания вставок может отличаться от типовых характеристик на ±50%.

Поэтому необходимо, чтобы время плавления по характеристике для большего предохранителя превышало более чем в 3 раза время плавления по характеристике для меньшего предохранителя,

$$t_{x1} > 3t_{x2}, \qquad (7\text{-}9)$$

где t_{x1} — время сгорания по характеристике большего предохранителя;

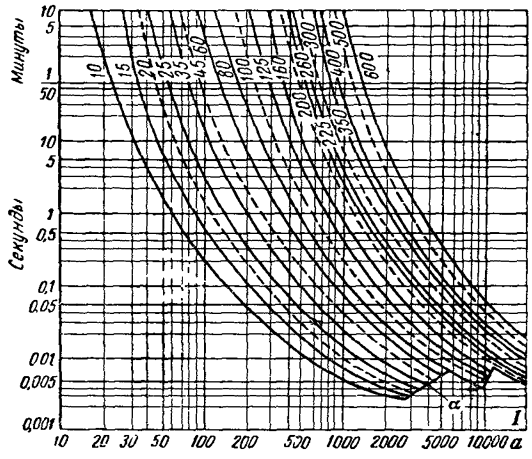


Рис. 7-15. Типовые характеристики плавких вставок предохранителей НПН и НПР. На каждой кривой обозначен номинальный ток вставки $I_{\text{вс}}$.
а — граница наибольших токов, пропускаемых вставками; *I* — ток перегрузки (при токе к. з. — действующее значение за первый период).

Таблица 7-18

Значения коэффициента перегрузки для выбора плавких вставок

Предохранители			Коэффициент $k_п$	
Тип	Марка	Металл вставки	Легкий пуск и самозапуск при ненагруженном механизме	Тяжелый пуск и самозапуск при нагруженном механизме
Инерционные	Е-27 и Е-33 при $I_{вс} < 35$ *а*	Свинец	Пусковой ток не учитывается, вставка выбирается по номинальному току двигателя	3,75
	СПО	Медь		
	Модернизированные ПР-1	Цинк		
Малоинерционные	ПР-1	Цинк	3	2
	П при $I_{вс} \geqslant 35$ *а*	Медь		
Безинерционные	Е-33 при $I_{вс} = 60$ *а*	Серебро	2,5	1,6
	КП, НПН, НПР, П при $I < 35$ *а*	Медь		

t_{x2} — время сгорания по характеристике меньшего предохранителя.

При защите предохранителями НПН и НПР с типовыми характеристиками, приведенными на рис. 7-16, селективность будет иметь место при соотношениях, приведенных в табл. 7-19, где I_1 — ток плавкой вставки, установленной на головном участке линии; I_2 — ток плавкой вставки, установленной со стороны потребителя; $I_{к.з}$ — наибольшее значение тока короткого замыкания.

Цифры без скобки в табл. 7-19 соответствуют наибольшим отклонениям от типовых характеристик и для наихудшего соотношения этих отклонений ±50%. Этими цифрами следует пользоваться в случаях необходимости обеспечить особо надежную селективность.

Таблица 7-19

Соотношения токов, обеспечивающие избирательность между плавкими вставками

При $\frac{I_{к.з}}{I_2}$	25	50	100	150	200
Необходимо, чтобы $\frac{I_1}{I_2} \geqslant$	1,7 (1,4)	2,0 (1,6)	2,5 (1,7)	3,0 (2,0)	3,3 (2,2)

В остальных случаях (когда отклонение от типовых характеристик не превышает ±25%), могут приниматься цифры в скобках (табл. 7-19).

Практически достаточная селективность при защите плавкими предохранителями получается во всех случаях, когда номинальный ток большей вставки выбран по стандартной шкале через одну, максимум через две ступени выше, чем номинальный ток меньшей вставки.

Если при выборе плавкой вставки по условию селективности и по условию отстройки от тока перегрузки получаются разные значения номинальных токов плавкой вставки, следует принимать для установки большую из них.

2. *Проверка селективности по сопоставлению сечений плавких вставок с учетом материала, из которого они изготовлены.*

При отсутствии характеристик плавких вставок их селективность можно проверить по соотношению сечений с учетом материала, из которого изготовлены вставки.

Для этого определяется отношение сечений плавких вставок, между которыми проверяется селективность, $\frac{s_1}{s_2}$, где s_1 — сечение плавкой вставки предохранителя *1*, установленного ближе к источнику питания, s_2 — предо-

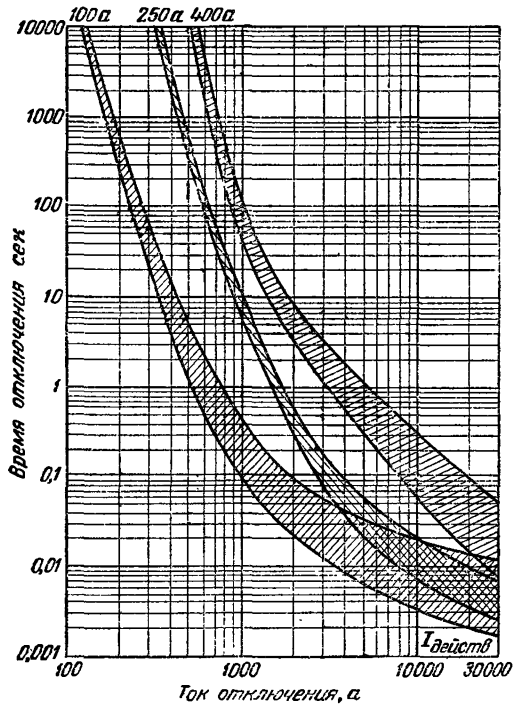


Рис. 7-16. Характеристики предохранителей типа ПНР-100, 250 и 400 (при температуре окружающей среды +20° С).

Таблица 7-20

Коэффициенты *a* для проверки селективности между плавкими вставками

Металл плавкой вставки предохранителя *1* (тип предохранителя значения не имеет)	Металл плавкой вставки предохранителя *2*							
	Предохранитель *2* закрытого типа с заполнителем				Предохранитель *2* открытого типа или закрытого типа без заполнителя			
	Медь	Серебро	Цинк	Свинец	Медь	Серебро	Цинк	Свинец
Медь	1,55	1,33	0,55	0,2	1,15	1,03	0,4	0,15
Серебро	1,72	1,55	0,62	0,23	1,33	1,15	0,46	0,17
Цинк	4,5	3,95	1,65	0,6	3,5	3,06	1,2	0,44
Свинец	12,4	10,8	4,5	1,65	9,5	8,4	3,3	1,2

Таблица 7-21

Площадь поперечного сечения медной вставки *s* предохранителей открытого типа в месте ее перегорания при коротком замыкании

$I_н$, *а*	Тип предохранителя						$I_н$, *а*	Тип предохранителя					
	Открытый с проволочной вставкой типа П		Открытый с штампованной вставкой, имеющей у концов ослабленные места		Открытый трубчатый СПО, ПТ			Открытый с проволочной вставкой типа П		Открытый с штампованной вставкой, имеющей у концов ослабленные места		Открытый трубчатый СПО, ПТ	
	Количество проволок и диаметр, *мм*	Сечение вставки, *мм²*	Толщина вставки, *мм*	Сечение вставки, *мм²*	Количество проволок и диаметр, *мм*	Сечение вставки, *мм²*		Количество проволок и диаметр, *мм*	Сечение вставки, *мм²*	Толщина вставки, *мм*	Сечение вставки, *мм²*	Количество проволок и диаметр, *мм*	Сечение вставки, *мм²*
15	1×0,45	0,45	—	—	—	—	150	2×1,25	2,44	—	—	3×1,5	5,28
20	1×0,5	0,196	—	—	—	—	150	—	—	—	—	2×2,1	6,90
25	1×0,6	0,283	—	—	—	—	200	2×1,35	2,86	1	1,75	1×3,5	9,65
35	1×0,75	0,44	—	—	1×1,1	0,95	200	—	—	—	—	2×2,5	9,8
50	1×0,9	0,635	—	—	1×1,45	1,65	200	—	—	—	—	3×1,7	6,84
60	—	—	—	—	1×1,65	2,13	225	—	—	1,1	1,93	—	—
70	1×1,1	0,95	—	—	—	—	250	—	—	1,2	2,1	—	—
70	2×0,75	0,88	—	—	—	—	300	—	—	1,35	2,36	—	—
80	1×1,2	1,1	—	—	1×2,1	3,45	330	—	—	1,45	2,54	—	—
80	2×0,8	1,04	—	—	—	—	350	—	—	1,5	2,63	—	—
100	—	—	—	—	1×2,45	4,7	375	—	—	1,65	2,88	—	—
100	1×1,35	1,45	—	—	2×1,45	3,3	400	—	—	1,8	3,15	—	—
125	—	—	—	—	1×2,75	5,9	450	—	—	2,05	3,6	—	—
125	2×1,1	1,9	—	—	2×1,7	4,54	500	—	—	2,4	4,2	—	—
150	—	—	—	—	1×3	7,05							

Таблица 7-22

Площадь поперечного сечения цинковой вставки предохранителей закрытого типа ПР-1 (ПР-2) без заполнителя в месте перегорания вставки при коротком замыкании

Патрон	На 60 *а*							На 350 *а*				На 600 *а*				На 1 000 *а*			
$I_н$, *а*	6	10	15	20	25	35	60	100	200	300	350	350	430	500	600	600	700	850	1 000
s, *мм²*	0,2	0,4	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5	3,0	6,0	13,0	14,0	13,0	22,0	20,0	38,0	24,0	28,0	55,0	65,0

Таблица 7-23

Площадь поперечного сечения свинцовой и серебряной вставок предохранителей закрытого типа без заполнителя (пробочные Е-14, Е-27, Е-33) в месте их перегорания при коротком замыкании

Металл	Свинец							Серебро
$I_н$, *а*	4	6	10	15	20	25	35	60
Число проволок и диаметр, *мм*	1×0,6	1×0,9	1×1,2	1×1,6	1×1,8	1×2,2	2×2,2	7×0,32
Сечение *s*, *мм²*	0,223	0,635	1,13	2,0	2,55	3,8	7,6	0,56

Таблица 7-24

Площадь поперечного сечения медной вставки s предохранителей закрытого типа НПН и НПР с заполнителем в виде кварцевого песка в месте ее перегорания при коротком замыкании

Патрон	НПН-15		НПН-60						НПР-100			НПР-200		
$I_н$, a	6	10	15	15	20	25	35	45	60	80	100	100	125	160	200
Количество проволок и диаметр, *мм*	2×0,15	2×0,25	2×0,3	2×0,3	3×0,3	4×0,3	2×0,55	3×0,55	4×0,55	4×0,55	6×0,47	6×0,6	8×0,6	10×0,6	12×0,6
Сечение, s, *мм*^{2}	0,0354	0,098	0,141	0,141	0,215	0,282	0,48	0,72	0,96	0,96	1,04	1,7	2,27	2,83	3,4
Рабочая длина проволоки, *мм*	60	60	60	60	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70

хранителя 2, установленного ближе к потребителю. Если это отношение равно или больше определенной величины a, учитывающей материал вставки и конструкцию предохранителей, то селективность обеспечивается, т. е.

$$\frac{s_1}{s_2} \geqslant a. \qquad (7\text{-}10)$$

Коэффициенты a приведены в табл. 7-20, сечения плавких вставок — в табл. 7-21—7-25.

7-4. ЗАЩИТА АВТОМАТИЧЕСКИМИ ВОЗДУШНЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ (АВТОМАТАМИ)

а) Автоматы А3100

Параметры автоматов

Установочные автоматы серии А3100 предназначены для защиты от перегрузки (с тепловыми расцепителями) и для защиты от коротких замыканий (с электромагнитными расцепителями). Применяются также автоматы с комбинированными расцепителями.

Основные параметры автоматов А3100 и их расцепителей приведены в табл. 7-26.

Тепловой расцепитель срабатывает с выдержкой, а электромагнитный — без выдержки времени.

Комбинированный расцепитель срабатывает без выдержки времени при прохождении сверхтоков коротких замыканий и с выдержкой времени при сверхтоках перегрузки.

Расцепители, устанавливаемые на автоматах типа А3160, не могут сменяться, а на автоматах других типов могут быть либо сняты, либо заменены расцепителями других типов.

Ток мгновенного срабатывания расцепителей может отличаться от величин, приведенных в табл. 7-26, для автоматов типа А3110 на ±30%, а для других типов на ±15%.

В табл. 7-27 дана отключающая способность установочных автоматов А3100 на переменном токе 50 *гц* при $\cos\varphi=0{,}5$ (за исключением автоматов А3161).

Габаритные и установочные размеры автоматов разных типов даны в табл. 7-26 и на рис. 7-17—7-20.

При выборе номинального тока расцепителя следует учитывать, что тепловые элементы расцепителя калибруются заводом на ток $I_к$, соответствующий температуре среды $t_к$, равный 25 или 45° С. При фактической температуре среды $t_ф$, отличной от $t_к$, время срабатывания теплового элемента будет таким же при фактическом токе $I_ф$, приближенно определяемом по формуле

$$I_ф = I_к \sqrt{\frac{130 - t_ф}{130 - t_к}}. \qquad (7\text{-}11)$$

По этой же формуле нужно пересчитать и номинальный ток расцепителя.

Время остывания до возможности обратного включения после срабатывания теплового элемента от перегрузки составляет для автоматов А3160 и А3110 порядка 1 *мин*, для А3120 — 2,5 *мин*, А3130 — 15 *мин* и для А3140 — 4 *мин*.

Характеристики и параметры автоматов А3100, приведенные выше, действительны для высоты над уровнем моря не более 1 000 *м* и температуры окружающей среды от +5 до +40° С при относительной влажности воздуха не более 75%.

Таблица 7-25

Площадь поперечного сечения медной вставки *s* предохранителей закрытого типа КП с заполнителем в виде кварцевого песка в месте ее перегорания при коротком замыкании

Патрон	КП выпуска 1948 г.				КП в исполнении с витыми вставками		
	Номинальный ток, *а*	Тип вставки	Количество проволок и диаметр, *мм*	*s*, *мм*²	Номинальный ток, *а*	Количество проволок и диаметр, *мм*	*s*, *мм*²
КП-25	—	—	—	—	6	1×0,16	0,02
					10	1×0,24	0,045
					15	1×0,28	0,061
					20	1×0,34	0,091
					25	1×0,41	0,131
КП-60	10	Простая проволочная	1×0,3	0,071	15	1×0,3	0,071
	15		1×0,37	0,108	20	1×0,37	0,108
	20		1×0,47	0,173	25	1×0,43	0,144
	25		1×0,55	0,238	35	1×0,52	0,212
	35		1×0,64	0,32	—	1×0,58	—
	45		1×0,86	0,50	45	1×0,58	0,264
	60		2×0,68	0,72	60	1×0,5	0,392
КП-100	60	—	—	—	60	2×0,48	0,36
	80				80	2×0,48	0,528
	100				100	3×0,5	0,59
КП-200	60	С оловянным шариком посередине	3×0,58	0,81	100	2×0,58	0,528
	80		4×0,58	1,05	125	3×0,58	0,792
	100		5×0,62	1,56	160	4×0,58	1,056
	125		6×0,68	2,16	200	5×0,58	1,32
	160		10×0,67	3,53	—	—	—
	200		12×0,68	4,34	—	—	—
КП-350	200	Витая	5×0,58	1,32	200	5×0,58	1,32
	225		6×0,58	1,58	225	6×0,58	1,584
	250		7×0,58	1,85	260	7×0,58	1,848
	300		9×0,58	2,37	300	9×0,58	2,376
	350		12×0,58	3,17	350	12×0,58	3,168
КП-600	—	—	—	—	430	—	—
					500	—	—
					600	20×0,58	5,28

Заводская калибровка тепловых расцепителей соответствует данным табл. 7-28.

Полное время срабатывания максимальных автоматов при наибольшем допустимом для данного типа значении тока короткого замыкания приведено в табл. 7-29.

Выбор автоматов

Автоматы должны выбираться в соответствии со следующими условиями:

а) Номинальное напряжение автомата должно быть не ниже напряжения сети:

$$U_{а.н} \geqslant U_{с}. \qquad (7\text{-}12)$$

б) Предельный допустимый ток автомата должен удовлетворять условию

$$I_{а.пред} \geqslant I_{к.з.макс}. \qquad (7\text{-}13)$$

в) Номинальный ток расцепителя должен быть не меньше расчетного тока нагрузки защищаемой цепи:

$$I_{расц} \geqslant I_{расч}. \qquad (7\text{-}14)$$

Автомат с таким расцепителем способен, не перегреваясь, пропускать сколь угодно долго расчетный ток нагрузки. При выборе номинального тока расцепителя можно не считаться с кратковременными перегрузками. Лишь на электродвигателях с большим временем пуска для предотвращения ложного отключения следует выбирать расцепители согласно выражению

$$I_{расц} \geqslant 1{,}5 I_{расч}. \qquad (7\text{-}14а)$$

Селективность автоматов А3100 должна проверяться в соответствии с кривыми защитных характеристик расцепителей, приведенными на рис. 7-21—7-23.

Зависимость времени отключения от кратности тока перегрузки $\frac{I}{I_{н}}$ отключаемого автоматом под воздействием тепловых расцепителей, показана на рис. 7-21 линией *а*. Линия *б* соответствует номинальной кратности тока, при котором уже начинает действовать электромагнитный расцепитель. За счет погрешности этот ток может оказаться равным любой другой величине в пределах заштрихованной зоны по обе стороны от линии б. Линия *в*, примерно равная 0,0055 *сек*, соответ-

Таблица 7-26

Сводная таблица установочных автоматов серии А3100

Типовые исполнения	$I_н$, *а*	Число полюсов	$U_п$		Данные расцепителя				Габаритные размеры, *мм*		
					Вид расцепителя	Номинальные					
						$I_н$, *а*	уставка расцепителя*				
			постоянного тока	переменного тока			теплового	электромагнитного	высота	ширина	глубина
Автоматы типа А3160											
А3161	50	1	110	220	Тепловой	15, 20, 25, 30, 40, 50	1,2	—	153	35	100
А3162	50	2	220	380	»	15, 20, 25, 30, 40, 50	1,2	—	153	105	100
А3163	50	3	220	380	»	15, 20, 25, 30, 40, 50	1,2	—	153	105	100
Автоматы типа А3110											
А3113/1	100	2	220	500	Комбинированный	15—100**	1,275	10-кратная	237	105	123
А3113/5	100	2	220	500	Электромагнитный	15, 20, 25, 40, 70, 100	—	10-кратная****	237	105	123
А3114/1	100	3	220	500	Комбинированный	15—100**	1,275	10-кратная	237	105	123
А3114/5	100	3	220	500	Электромагнитный	15, 20, 25, 40, 70, 100	—	10-кратная****	237	105	123
А3113/7	100	2	220	500	Неавтоматические	—	—	—	237	105	123
А3114/7	100	3	220	500	»	—	—	—	237	105	123
Автоматы типа А3120											
А3123	100	2	220	500	Комбинированный	15, 20, 25, 30	1,275	430 *а*	258	153	125
А3123	100	2	220	500	»	40, 50, 60	1,275	600 *а*	258	153	125
А3123	100	2	220	500	»	80, 100	1,275	800 *а*	258	153	125
А3123	100	2	220	—	Электромагнитный	30	—	430 *а*	258	153	125
А3123	100	2	220	—	»	100	—	600, 800 *а*	258	153	125
А3124	100	3	220	500	Комбинированный	15, 20, 25, 30	1,275	430 *а*	258	153	125
А3124	100	3	220	500	»	40, 50, 60	1,275	600 *а*	258	153	125
А3124	100	3	220	500	»	80, 100	1,275	800 *а*	258	153	125
А3124	100	3	—	500	Электромагнитный	100	—	430, 600, 800 *а*	258	153	125
А3123	100	2	—	500	»	100	—	430, 600, 800 *а*	258	153	125
А3124	100	3	220	—	»	30	—	430 *а*	258	153	125
А3124	100	3	220	—	»	100	—	600, 800 *а*	258	153	125
А3123/7	100	2	220	500	Неавтоматические	—	—	—	258	153	125
А3124/7	100	3	220	500	»	—	—	—	258	153	125
Автоматы типа А3130											
А3133	200	2	220	500	Комбинированный	120, 140, 170, 200	1,275	7-кратная	395	210	140
А3133	200	2	220	500	Электромагнитный	200	—	840, 1 000, 1 200, 1 400 *а*	395	210	140
А3134	200	3	220	500	Комбинированный	120, 140, 170, 200	1,275	7-кратная	395	210	140
А3134	200	3	220	500	Электромагнитный	200	—	840, 1 000 1 200, 1 400 *а*	395	210	140
А3133/7	200	2	220	500	Неавтоматические	—	—	—	395	210	140
А3134/7	200	3	220	500	»	—	—	—	395	210	140
Автоматы типа А3140											
А3143	600	2	220	500	Комбинированный	250, 300, 350, 400, 500, 600	1,275	7-кратная	560	215	182
А3143	600	2	220	500	Электромагнитный	600	—	1 750—4 200***** *а*	560	215	182
А3144	600	3	220	500	Комбинированный	250, 300, 350, 400, 500, 600	1,275	7-кратная	560	215	182
А3144	600	3	220	500	Электромагнитный	600	—	1 750—4 200***** *а*	560	215	182
А3143 7	600	2	220	500	Неавтоматические	—	—	—	560	215	182
А3144 7	600	3	220	500	»	—	—	—	560	215	182

* Приводятся значения по отношению к номинальному току расцепителя.
** 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 85, 100 *а*.
*** Номинальная уставка расцепителя постоянного тока: на 40 *а*—300 и 400 *а*; на 70 *а*—500, 600 и 700 *а*; на 100 *а*—850 и 1 000 *а*;
**** Номинальная уставка расцепителя переменного тока: на 40 *а*—300 и 400 *а*, на 70 *а*—500 и 600 *а*; на 100 *а*—700, 850 и 1 000 *а*.
***** 1 750, 2 100, 2 450, 2 800, 3 500, 4 200 *а*.

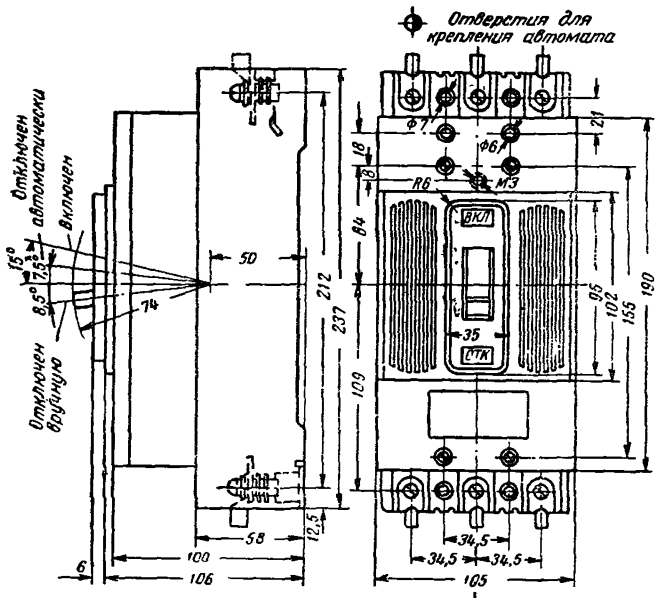


Рис. 7-17. Выключатели автоматические воздушные установочные А3161, А3162, А3163 на 50 *а*.

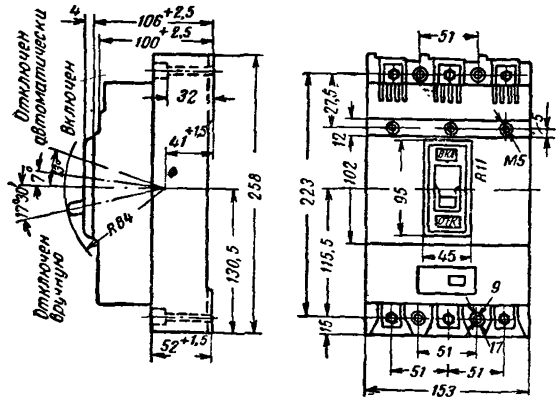


Рис. 7-18. Автомат А3120.

Таблица 7-27

Отключающая способность установочных автоматов А3100

$I_н$ расцепителя, *а*	Предельный допустимый ударный ток короткого замыкания, *а**				Допустимое количество отключений, не менее**
	127 *в*	220 *в*	380 *в*	500 *в*	
Автоматы типа А3161					
15	3 000	2 500	—	—	10
20	3 000	3 000	—	—	7
25	4 000	3 500	—	—	6
30	4 500	4 000	—	—	5
40	5 000	4 500	—	—	4
50	5 000	5 000	—	—	3

Продолжение табл. 7-27

Автоматы типа А3163					
15	—	—	2 000	—	15
20	—	—	2 500	—	12
25	—	—	3 000	—	10
30	—	—	3 500	—	8
40	—	—	4 000	—	6
50	—	—	4 500	—	5
Автоматы типа А3110					
15	—	4 000	3 200	2 500	15
20	—	5 000	4 000	3 200	12
25	—	6 500	5 000	4 000	10
30	—	9 000	7 000	6 000	7
40	—	10 000	8 500	7 000	5
50	—	12 000	10 000	8 000	4
60, 70	—	13 000	11 000	9 000	3
85, 100	—	15 000	12 000	10 000	3
Автоматы типа А3120					
15	—	7 000	5 500	4 000	12
20	—	7 500	6 000	5 000	12
25	—	11 000	9 000	7 000	12
30	—	12 000	10 000	8 000	12
40	—	15 000	13 000	10 000	12
50	—	22 000	19 000	14 000	7
60	—	23 000	20 000	15 000	7
80	—	26 000	22 000	16 000	7
100	—	30 000	23 000	18 000	7
Автоматы типа А3130					
120	—	22 000	19 000	14 000	12
140, 170	—	30 000	23 000	18 000	8
200	—	40 000	30 000	25 000	5
Автоматы типа А3140					
250	—	35 000	32 000	32 000	8
300, 350	—	40 000	35 000	—	7
400	—	—	—	35 000	5
500, 600	—	50 000	—	—	4
500, 600	—	—	50 000	40 000	3

* Эти токи определены, как возникающие в установках без учета собственного сопротивления автомата.

** Количество отключений указано по износу контактов.

Таблица 7-28

Заводская калибровка тепловых расцепителей

Кратность испытательного тока по отношению к номинальному току расцепителя	Время срабатывания тепловых элементов автоматов			
	А3161, А3163	А3110, А3120	А3130	А3140
1,1	Не срабатывают в течение			
	2 *ч*	—	3 *ч*	4 *ч*
1,3	Срабатывает в течение не более 2 *ч*	—		
1,45	—	Срабатывает в течение не более 1 *ч*		

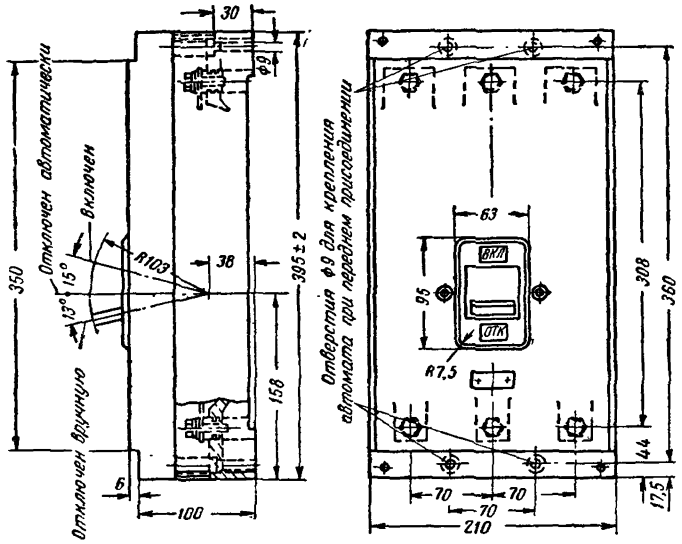


Рис. 7-19. Автомат А3130.

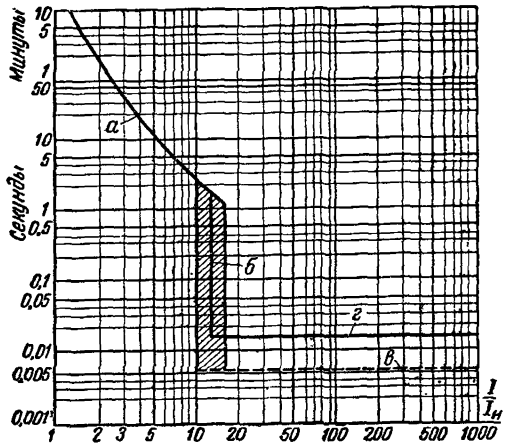


Рис. 7-21. Защитные характеристики установочного автомата А3120 с комбинированным расцепителем 50 *а*, 380 *в*.

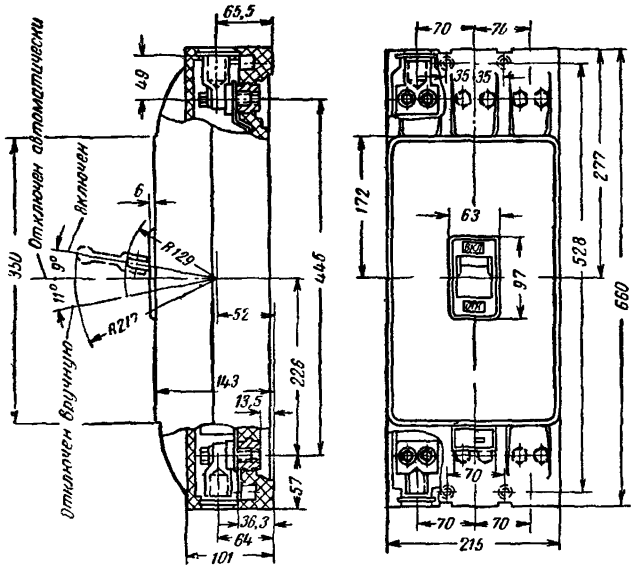


Рис. 7-20. Автомат А3140.

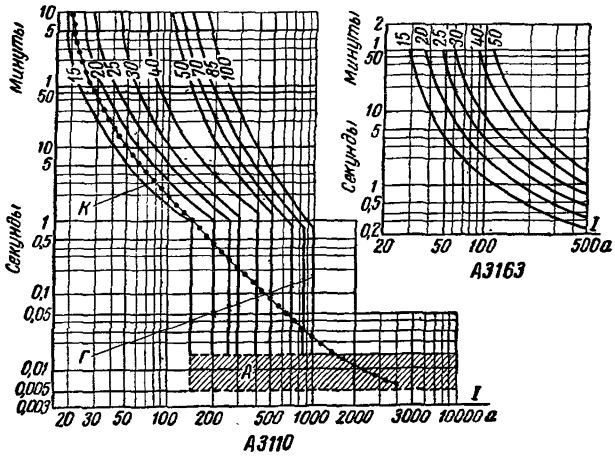


Рис. 7-22. Защитные характеристики комбинированных расцепителей автоматов А3110 и А3163.

Таблица 7-29

Полное время срабатывания максимальных автоматов при максимальном допустимом токе короткого замыкания

Тип автомата	А3110	А3120	А3130	А3140	А3160
Полное время срабатывания, *мсек*	10—15	10—20	10—20	25—35	15—30

ствует времени от начала короткого замыкания до момента удара якоря электромагнитного расцепителя по рейке, после чего автомат отключит независимо от того, продолжается или нет прохождение тока короткого замыкания. Линия *г* (около 0,015 *сек*) соответствует полному времени отключения автоматом тока короткого замыкания в сетях 380 *в* под воздействием электромагнитных расцепителей.

На рис. 7-22 и 7-23 приведены защитные характеристики автоматов А3100. На каждой кривой обозначен номинальный ток расцепителя. Заштрихованные области *А* (рис. 7-22), *Б* — для автоматов А3120 и А3130, область *В* — для автоматов А3140 (рис. 7-23) определяют время отключения автоматами тока короткого замыкания (нижняя линия — время от начала короткого замыкания до удара якоря электромагнитного расцепителя по рейке, верхняя линия — время от начала короткого замыкания до его полного отключения). *Г* —

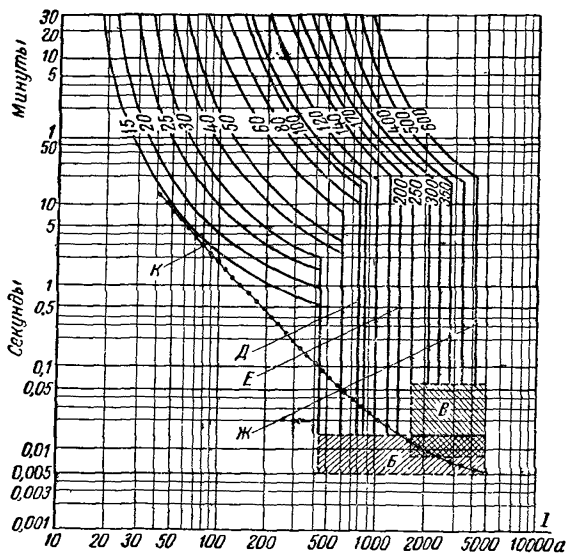


Рис. 7-23. Защитные характеристики комбинированных расцепителей автоматов А3120, А3130, А3140.

линия средних (±30%) токов, при которых уже начинают действовать электромагнитные расцепители (отсечки) автоматов А3110 (рис. 7-22). На рис. 7-23 то же самое показано линиями *Д*, *Е*, *Ж* соответственно для автоматов А3120, А3130, А3140. На том же рисунке линия *К* — характеристика однополюсного автомата А3161 с тепловым расцепителем 15 *а*.

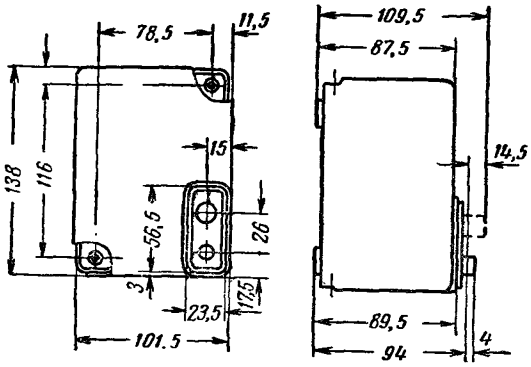
Из рассмотрения характеристик автоматов А3100 следует, что при больших токах они не обеспечивают селективности. Селективность обеспечивается лишь при сравнительно небольших токах перегрузки, а также в тех случаях, когда ток короткого замыкания на участке, ближе расположенном к потребителю, больше, чем ток на головном участке.

б) Автоматы АП25 и АП50

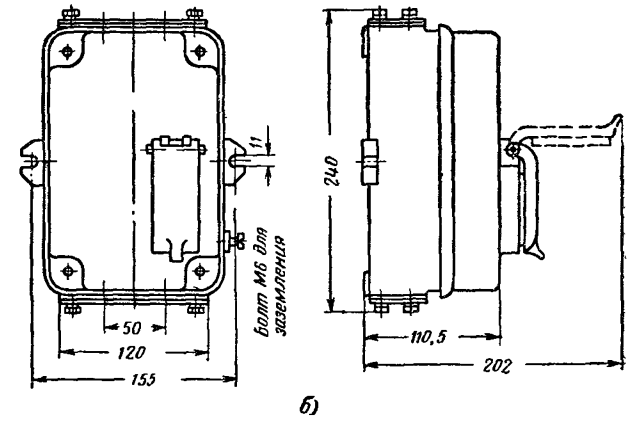
Параметры автоматов

Автоматы типов АП25 и АП50 предназначены для защиты электрических цепей и двигателей от перегрузки и коротких замыканий.

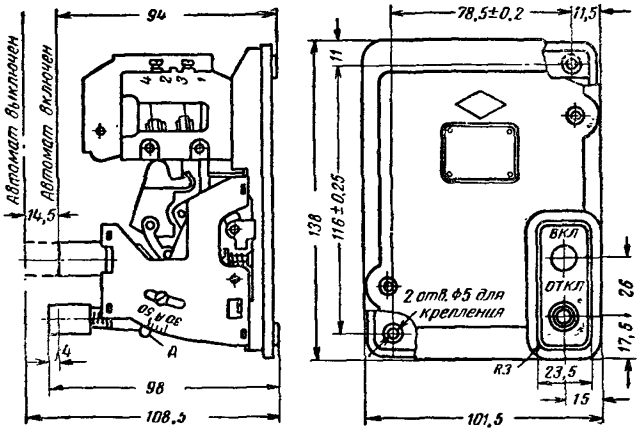
Автоматы допускают работу при температуре окружающей среды от —35 до +35° С при высоте над



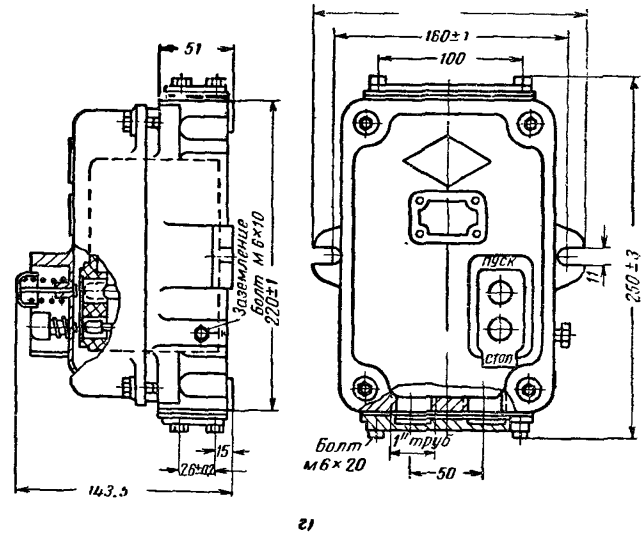
а)



б)



в)



г)

Рис. 7-24. Автоматы типов АП25 и АП50.
а — АП25 в пластмассовом корпусе; *б* — АП25 в чугунном корпусе; *в* — АП50 в пластмассовом корпусе; *г* — АП50 в металлическом корпусе.

Таблица 7-30

Технические данные автоматов АП25

Исполнение	Число полюсов	Род тока	U, *в*	$I_н$ автомата, *а*	$I_{уст}$, *а*	Расцепитель тепловой: Регулировка установки	Время срабатывания при нагрузке: 1,1 $I_{уст}$	1,35 $I_{уст}$	6,0 $I_{уст}$	Время остывания теплового элемента	Расцепитель электромагнитный: Ток мгновенного срабатывания отсечки: на переменном токе, *а*	на постоянном токе, *а*
АП25-3МТ	3	Переменный	380	25	1,6	1—1,6	Не срабатывает в течение 1 *ч*	Не более 30 *мин*	1—10 *сек*	Не более 2 *мин*	11	14
					2,5	1,6—2,5					17,5	22
					4	2,5—4					28	36
АП25-2МТ	2	Постоянный	220		6,4	4—6,4					45	57
					10	6,4—10					70	90
					16	10—16					110	140
					25	16—25					175	220
АП25-3М	3	Переменный	380	25	1,6	Отсутствует					11	14
					2,5						17,5	22
					4						28	36
					6,4						45	57
					10						70	90
АП25-2М	2	Постояниый	220		16						110	140
					25						175	220
АП25-3Т	3	Переменный	380	25	1,6	1—1,6	Не срабатывает в течение 1 *ч*	Не более 30 *мин*	1—10 *сек*	Не более 2 *мин*	Отсутствует	
					2,5	1,6—2,5						
					4	2,5—4						
					6,4	4—6,4						
					10	6,4—10						
АП25-2Т	2	Постояиный	220		16	10—16						
					25	16—25						
АП25-3	3	Переменный	380	25	Расцепители отсутствуют							
АП25-2	2	Постояиый	220									

Примечание. М—максимальный (электромагнитный) расцепитель, отключающий без выдержки времени; Т—тепловой расцепитель, отключающий с выдержкой времени, обратно зависимой от тока; МТ—электромагнитный и тепловой расцепитель.

Электромагнитный расцепитель не срабатывает при испытательном токе на 15% ниже указанного в таблице и срабатывает при испытательном токе на 15% выше. Ток срабатывания электромагнитного расцепителя может регулироваться в пределах 20%.

Таблица 7-31

Технические данные автоматов АП50*

Исполнение	Число полюсов	Род тока	U, *в*	$I_{уст}$, *а*	Расцепитель тепловой: Регулировка уставки	Время срабатывания при нагрузке: 1,1 $I_{уст}$	1,35 $I_{уст}$	6,0 $I_{уст}$	Расцепитель электромагнитный: Ток мгновенного срабатывания отсечки, *а*: на переменном токе 50 *гц*, *а*	на постоянном токе 220 *в*, *а*	Расцепитель минимального напряжения, *в*
АП50-2М3ТН	3	Переменный	380	1,6	1—1,6	Не срабатывает в течение 1 *ч*	Не более 30 *мин*	1—10 *сек*	11	14	127, 220, 380
АП50-2М3ТН	3	„	220	2,5	1,6—2,5				17,5	22	127, 220
АП50-2М2ТН	2	„	380	4	2,5—4				28	36	127, 220, 380
АП50-2М2ТН	2	„	220	6,4	4—6,4				45	57	127, 220
АП50-3МТ	3	„	380	10	6,4—10				70	90	—
АП50-2МТ	2	„	380	16	10—16				110	140	—
АП50-2МТ	2	Постоянный	220	25	16—25				175	220	—
				40	25—40				280	352	—
				50	40—50				350	440	—

Продолжение табл. 7-31

Исполнение	Число полюсов	Род тока	U, в	$I_{уст}$, а	Расцепитель тепловой				Расцепитель электромагнитный		Расцепитель минимального напряжения, в
					Регулировка уставки	Время срабатывания при нагрузке			Ток мгновенного срабатывания отсечки, а		
						1,1 $I_{уст}$	1,35 $I_{уст}$	6,0 $I_{уст}$	на переменном токе 50 гц, а	на постоянном токе 220 в, а	
АП50-3М	3	Переменный	380	1,6	Отсутствует				11	14	—
				2,5					17,5	22	—
АП50-2М	2	»	380	4					28	36	—
АП50-2М	2	Постоянный	220	6,4					45	57	—
				10					70	90	—
				16					110	140	—
				25					175	220	—
				40					280	352	—
				50					350	440	—
АП50-3ТН	3	Переменный	380	1,6	1—1,6	Не срабатывает в течение 1 ч	Не более 30 мин	1—10 сек	Отсутствует		127, 220, 380
АП50-3ТН	3	»	220	2,5	1,6—2,5						127, 220
АП50-2ТН	2	»	380	4	2,5—4						127—220, 380
АП50-2ТН	2	»	220	6,4	4—6,4						127—220
АП50-3Т	3	»	380	10	6,4—10						
АП50-2Т	2	»	380	16	10—16						
АП50-2Т	2	Постоянный	220	25	16—25						
				40	25—40						
				50	40—50						
АП50-3	3	Переменный	380	Расцепители отсутствуют							
АП50-2	2	»	380								
АП50-2	2	Постоянный	220								

* См. примечания к табл. 7-30.

уровнем моря не более 1 000 *м* и при относительной влажности воздуха до 30% (АП25) и до 75% (АП50).

Автоматы АП50 имеют исполнение для работы в условиях тропического климата.

Таблица 7-32

Отключающая способность автоматов АП25 с электромагнитными расцепителями

$I_н$ расцепителя, а	Допустимое значение тока короткого замыкания $I_{действ}$, а при		Полное время отключения короткого замыкания, сек		Допускаемое количество отключений не менее**
	~380 в cosφ= 0,5	=220 в Постоянная времени цепи 0,01 сек*	~380 в	=220 в	
1,6	250	240	0,017	0,02	25
2,5	300	300			25
4	450	450			15
6,4	700	700			10
10	1 000	1 000			5
15	1 500	1 500			3
25	1 500	2 000			3

* При разрыве цепи двумя полюсами.

** После половины указанного числа отключений необходимо произвести осмотр автомата, зачистить контакты, удалить копоть, пыль и частицы металла с пластмассовых деталей и дугогасительного устройства.

Технические данные автоматов приведены в табл. 7-30—7-33, а габаритные и установочные размеры — на рис. 7-24.

Выбор автоматов

Параметры автоматов АП25 и АП50 должны удовлетворять условиям (7-12)—(7-14).

Ток уставки регулируемого теплового элемента (защита от перегрузки) должен быть равен 1,25 $I_{расч}$, а ток уставки регулируемого электромагнитного элемента (мгновенное отключение при токе короткого замыкания) должен быть не менее 1,25 наибольшей кратковременной перегрузки.

В табл. 7-34 даны примерные уставки тока расцепителей автомата по известной мощности трехфазных асинхронных электродвигателей.

Расцепители калибруются заводом-изготовителем при температуре окружающей среды +35° С. При выборе тока срабатывания расцепителя следует учитывать, что на каждые 10° С увеличения (снижения) температуры среды ток срабатывания снижается (увеличивается) не более чем на 6%. Соответственно этому может быть пересчитан ток расцепителя для температуры среды, отличающейся от +35° С.

Для оценки времени срабатывания автоматов АП25 и АП50 можно пользоваться характеристиками, приведенными на рис. 7-25.

Автоматы АП25 и АП50, как правило, не обеспечивают селективной защиты.

Таблица 7-33

Отключающая способность автоматов типа АП50

Тип автоматов	$I_н$ расцепителя, *а*	Допустимое значение тока короткого замыкания, *а*		Полное время отключения короткого замыкания, *сек*		Допускаемое количество отключений не менее**
		~380 *в* cos φ=0,5	=220 *в*, Постоянная времени цепи 0,01 *сек**	~380 *в*	=220 *в*	
АП50-2М3ТН	1,6	300	1 000			35
АП50-2М2ТН	2,5	400	1 000			25
АП50-3МТ	4	600	1 000			15
АП50-2МТ	6,4	800	1 500	0,017	0,020	10
АП50-3М	10	1 500	1 500			3
АП50-2М	16	1 500	1 500			3
	25	1 500	1 500			3
	40	1 500	1 500			3
	50	1 500	1 500			3
АП50-3ТН	1,6	12-кратный номинального				
АП50-2ТН	2,5					
АП50-3Т	4					
АП50-2Т	6,4			—	—	—
	10					
	16					
	25					
	40					
	50					
АП50-3		Номинальный ток автомата 50 *а*				
АП50-2						

* При разрыве цепи двумя полюсами.
** После половины указанного числа отключений необходимо произвести осмотр автомата, зачистить контакты, удалить копоть, пыль и частицы металла в пластмассовых деталей и дугогасительного устройства.

Таблица 7-34

Мощность трехфазного асинхронного электродвигателя, *квт*	Номинальное напряжение, *в*		
	280	220	127
	Номинальный ток уставок расцепителей автоматов АП25 и АП50, *а*		
0,6	1—1,6	1,6—2,5	4—6,4
1,0	1,6—2,5	2,5—4	6,4—10
1,7	2,5—4	6,4—10	10—16
2,8	4—6,4	10—16	16—25
4,5	6,4—10	10—16	25—40
7	10—16	16—25	40—50
10	16—25	25—40	—
14	40—50	40—50	—

в) Автоматы А2000

Параметры автоматов

Автоматы А2000 предназначены для осуществления максимальной мгновенной защиты в цепях переменного тока до 500 *в* и в цепях постоянного тока до 440 *в*, а также для нечастой коммутации цепей при номинальном токе.

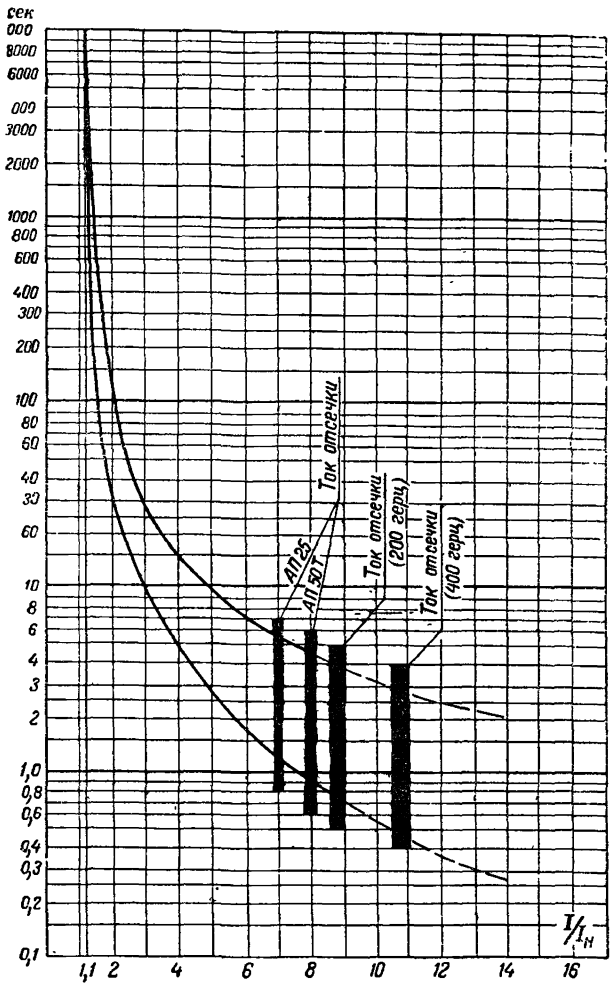


Рис. 7-25. Характеристика селективности автомата АП25.

Автоматы имеют открытое исполнение и предназначены для установки внутри сухих непыльных помещений, не содержащих паров или газов, разрушающих детали автомата. При встройке автомата в шкаф расстояние от дугогасительных камер, измеренное по вертикали, до токоведущих и заземленных частей должно быть не менее 150 *мм*.

Габаритные и установочные размеры автоматов серии А2000 приведены на рис. 7-26, 7-27 и в табл. 7-35.

Технические данные автоматов серии А2000 приведены в табл. 7-36.

Для переменного тока в табл. 7-36 указаны максимальные мгновенные значения тока короткого замыкания в цепях при cos φ=0,8 (только для А2050 при cos φ=0,4). Для постоянного тока указанные значения тока короткого замыкания действительны при защите автоматом обоих полюсов цепи.

Возможное отклонение от токов уставки, маркируемых на шкале максимальных расцепителей, ±10%.

Схема действия расцепителей автомата А2000 дана на рис. 7-28.

Автоматы могут заказываться с одним добавочным расцепителем либо минимальным (нулевым), либо не-

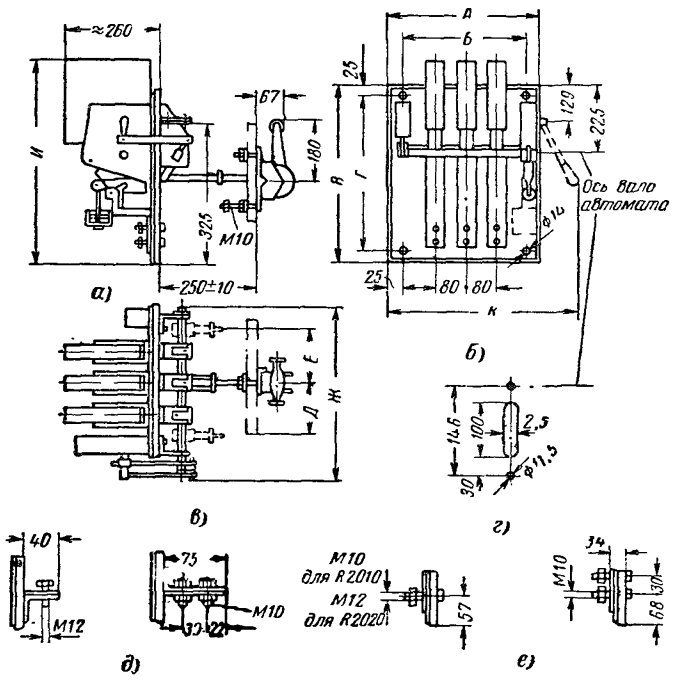


Рис. 7-26. Выключатели автоматические воздушные А2010, А2020, А2030, А2030Н, А2030Б с рычажным приводом или рукояткой. *а, б, в* — размеры выключателей; *г* — разметка отверстий под привод; *д* — верхние контактные зажимы автоматов А2010, А2020 (слева) и А2030, А2030Н, А2030Б (справа); *е* — то же нижние контактные зажимы.

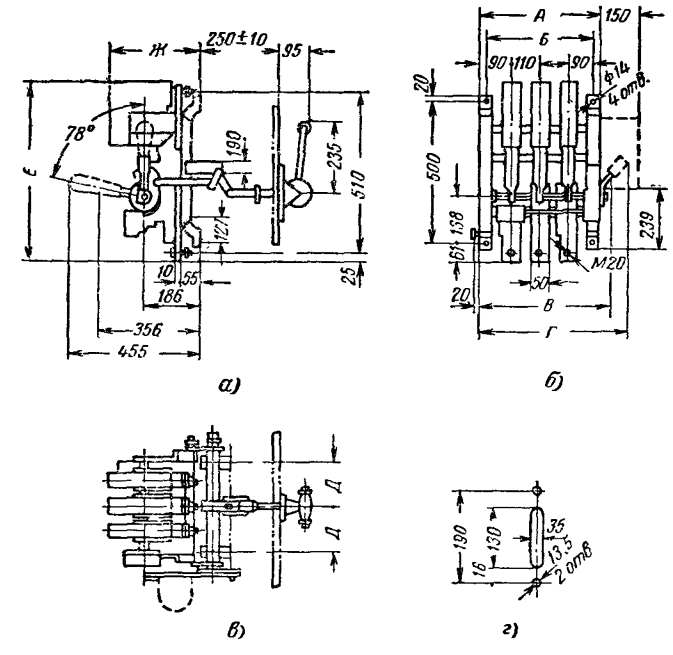


Рис. 7-27. Выключатели автоматические воздушные А2050, А2050Н, А2050Б на 1 500 *а* с рычажным или электромагнитным приводом или с рукояткой.

а, б, в — габаритные размеры выключателей; *г* — разметка отверстий под рычажный привод.

зависимым (отключающим). Минимальный расцепитель срабатывает автоматически при исчезновении или снижении напряжения на его катушке до 40% номинальной величины. При напряжении 440 *в* постоянного тока в цепь катушки вводится дополнительное сопротивление.

Независимый расцепитель, катушка которого рассчитана на кратковременное включение (не более

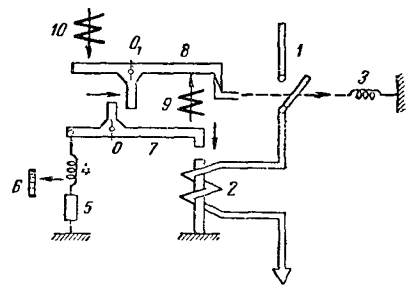


Рис. 7-28. Схема действия расцепителей А2000.

1 — главная цепь автомата (показан один полюс); *2* — катушка максимального тока; *3* — отключающая пружина; *4* — пружина уставки тока отключения; *5* — винт, регулирующий натяжение пружины *4* и уставку тока отключения; *6* — указатель тока уставки; *7* — якорь максимального расцепителя; *8* — защелка, общая для всех полюсов, вращающаяся на оси распределительного валика O_1; *9* — катушка независимого расцепителя; *10* — катушка минимального (нулевого) расцепителя; *О* — ось вращения якоря.

30 *сек*), действует надежно при напряжении не менее 75% номинальной величины.

Потребляемая мощность катушками минимального и независимого расцепителя приведены в табл. 7-37.

Автоматы не рассчитаны на отключение тока короткого замыкания с выдержкой времени.

Автоматы выполняются с рукояткой для ручного управления либо с рычажным приводом.

Автоматы А2050 могут также быть выполнены с электромагнитным приводом постоянного тока (48, 110, 220 *в*). Мощность, потребляемая катушкой привода, равна для однополюсного автомата 4 *квт*, для двухполюсного 7,5 *квт*, для трехполюсного 10 *квт* (48, 110 *в*) и 13 *квт* (220 *в*).

Автоматы А2010, А2020 и А2030 могут поставляться с масляными успокоителями на максимальных расцепителях, предназначенными для предотвращения самопроизвольных отключений автомата при механических толчках и вместе с тем являющимися замедлителями с выдержкой времени, неустойчивой и зависящей от тока.

Выбор автоматов

Параметры автоматов А2000 должны удовлетворять условиям (7-12)—(7-14).

Ток уставки максимальных расцепителей, характеристика которых приведена на рис. 7-29, должен быть равен 1,25 наибольшей кратковременной перегрузки.

Избирательная защита автоматами А2000 возможна лишь в редких случаях при малых значениях токов коротких замыканий. Так, например, если головной участок защищен автоматом с уставкой I_1, а ответвление — автоматом с уставкой I_2, селективное действие защиты будет иметь место лишь в случаях, если ток короткого замыкания в ответвлении $I_{к.з} < 1{,}5\ I_1$.

Таблица 7-35

Габариты автоматов А2010, А2020, А2030, А2030Н, А2030Б, А2050, А2050Н, А2050Б

Тип	Номинальный ток, *а*	Число полюсов	Размеры, *мм*								
			А	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*	*Ж*	*И*	*К*
А2010	200	1	250	200	450	400	55	25	280	500	326
		2	320	270	450	400	95	65	360	500	396
А2020	400	3	380	330	450	400	135	105	440	500	456
		1	250	200	500	450	55	25	220	550	326
А2030	600	2	320	270	500	450	95	65	360	550	396
		3	380	330	500	450	135	105	440	550	456
А2030Н	800	2	310	260	500	450	125	50	346	570	395
		3	390	340	500	450	135	90	426	570	475
А2030Б	800	2	310	260	500	450	125	50	346	570	395
		3	390	340	500	450	135	90	426	570	475
А2050	1 500	1	220	180	266	302	80	620	285	—	—
		2	330	290	376	412	135	620	285	—	—
		3	440	400	486	522	190	620	285	—	—
А2050Н	1 500	2	330	290	376	412	135	634	285	—	—
		3	440	400	486	522	190	634	285	—	—
А2050Б	1 500	2	330	290	376	412	135	656	305	—	—
		3	440	400	486	522	190	656	305	—	—

Примечание. Размеры Д и Е (А2010, А2020, А2030, А2030Н, А2030Б) и Д (А2050, А2050Н, А2050Б) указывают допустимые пределы смещения оси привода относительно оси автомата.

Автоматы А2050Н и А2050Б для присоединения шин вместо одного болта М20 имеют четыре болта М12.

Таблица 7-36

Технические данные автоматов серии А2000

Тип	Автомат						Максимальные расцепители	
	Номинальный ток, *а*	Число		Отключаемый ток короткого замыкания			Номинальный ток катушки, *а*	Токи уставки, маркируемые на шкале, *а*
		полюсов	максимальных расцепителей	Нормальный предел, *а*	Наибольший предел, *а*			
					Переменный ток до 500 *в*	Постоянный ток до 440 *в*		
А2010	200	1	1	10 000	20 000	15 000	100	100—140—200
		2	2				140	140—200—280
		3	2				200	200—280—400
		3	3					
А2020	400	1	1	15 000	30 000	20 000	400	400—600—800
		2	2					
		3	2					
		3	3					
А2030	600	1	1	15 000	30 000	20 000	600	600—900—1 200
		2	2					
		3	2					
		3	3					
А2050	1 500	1	1	20 000	30 000	20 000	1 500	800—1 200—1 500
		2	2					
		3	2				1 500	1 000—1 500—2 000
		3	3				1 500	1 500—2 200—3 000

Таблица 7-37

Потребление мощности катушками расцепителей

Назначение катушки	Тип автомата	Переменный ток		Постоянный ток	
		в	*ва*	*в*	*ва*
Катушка минимального расцепителя	А2010	127	30	110	8
	А2020	220	30	220	8
	А2030	380	30	440	25
	А2050	500	70		
Катушка независимого расцепителя	А2010	127	350 (при пусковом токе)	24	100
	А2020	220		48	100
	А2030	380		110	100
				220	100
	А2050	500		440	200

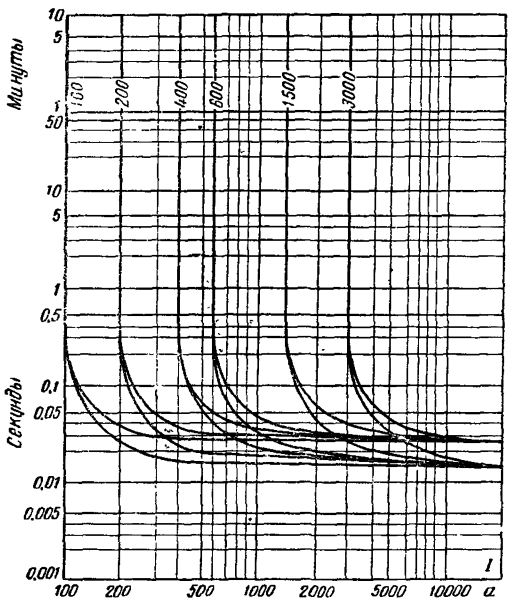


Рис. 7-29. Типовые характеристики автоматов А2000. Нижняя граница каждой кривой показывает время, достаточное для выбивания защелки, после чего отключение продолжается уже независимо от наличия или отсутствия тока.

г) Автоматы А2000Н

Параметры автоматов

Автоматы А2000Н обеспечивают мгновенную максимальную защиту от токов короткого замыкания и зависимую с выдержкой времени от токов перегрузки.

Схема действия расцепителей автомата А2000Н приведена на рис. 7-30.

Технические характеристики автоматов А2030Н, А2050Н даны в табл. 7-38.

Для автоматов типа А2000Н действительны положения о применении независимых и минимальных расцепителей, отмеченные для автоматов типа А2000. Отключающая способность автоматов А2000Н такая же, как у автоматов А2030 и А2050.

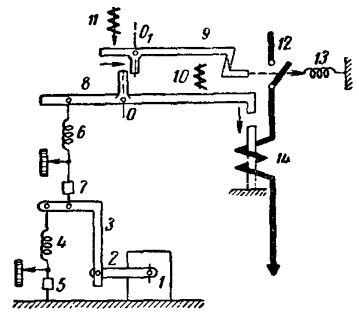


Рис. 7-30. Схема действия расцепителей А2000Н.
1 — часовой механизм; *2* — рычаг на валу часового механизма; *3* — скоба-тяга; *4* — пружина уставки тока замедленного срабатывания; *5* — регулятор (винт) натяжения пружины *4* с указателем шкалы уставки на ток замедленного срабатывания; *6* — пружина уставки на ток мгновенного срабатывания; *7* — регулятор (винт) натяжения пружины *6* с указателем шкалы уставки на ток мгновенного срабатывания; *8* — якорь (*O* — ось вращения); *9* — защелка — общая для всех фаз (полюсов), вращающаяся на оси распределительного валика O_1; *10* — катушка независимого расцепителя; *11* — катушка минимального (нулевого) расцепителя; *12* — главная цепь автомата; *13* — отключающая пружина; *14* — катушка минимального тока.

Фактический ток срабатывания расцепителей автоматов А2000Н может отличаться от тока уставки, приведенной в табл. 7-38, на ±10%.

Автоматы А2000Н могут поставляться с усиленными пружинами максимального расцепителя мгновенного срабатывания (ПР254). Эти пружины позволяют улучшить отстройку от кратковременных бросков тока без загрубления защиты от перегрузки.

Верхние пределы уставки мгновенного срабатывания даны в табл. 7-39.

Выдержка времени элемента замедленного срабатывания регулируется по шкале часового механизма, имеющей метки (**1, 1/4, 0**) или (**макс, мин, 0**). На метке **0** расцепитель срабатывает без выдержки времени при токе, меньшем уставки тока замедленного срабатывания, так как в этом случае отсутствует тормозящее действие часового механизма; между метками **0—1/4** расцепитель срабатывает либо без выдержки времени, либо с небольшой, сильно меняющейся выдержкой времени; на метке **1** расцепитель срабатывает за время не менее 10—12 *сек*, если принята наименьшая из возможных уставок тока замедленного срабатывания.

При увеличении тока в цепи до значения уставки тока замедленного срабатывания максимальный расцепитель придет в действие, и если за время, равное 2/3 полной выдержки времени, ток снизится до 70% минимальной уставки, то подвижная часть максимального расцепителя вернется в исходное положение.

Защитные характеристики автоматов А2000Н приведены на рис. 7-31. Пунктиром на рис. 7-31 показана характеристика для автомата на 100 *а* при тех же уставках тока, но при минимальной уставке выдержки времени на часовом механизме.

На рис. 7-31 штриховой линией нанесены две наклонные прямые. Нижняя указывает время, через которое якорь автомата ударит по валику механизма расцепления при токе короткого замыкания, после чего автомат будет продолжать отключение независимо от того, продолжается или нет ток короткого замыкания. Верхняя линия определяет полное время отключения автомата, включая время разрыва дуги тока короткого замыкания.

По характеристикам, приведенным на рис. 7-31, и каталожным данным уставок (табл. 7-38) можно по-

Таблица 7-38

Технические характеристики автоматов А2030Н и А2050Н

Автоматы					Максимальные расцепители		
						Токи уставки по шкале	
Тип	$I_н$, *а*	$U_н$, *в*	Число полюсов	Количество максимальных расцепителей	Номинальный ток катушки, *а*	замедленного срабатывания, *а*	мгновенного срабатывания, *а*
А2030Н	800	Переменный ток 500 *в* Постоянный ток 440 *в*	2	2	100	150—250	450—750
					140	180—300	550—875
					200	230—400	700—1 150
			3	2	300	320—600	1 000—1 600
					400	400—800	1 300—2 000
					550	550—1 000	1 700—2 600
			3	3	800	800—1 600	2 500—4 000
А2050Н	1 500		2	2	1 500	1 300—1 800	3 200—4 500
			3	2			
			3	3	1 500	1 800—300	4 500—5 000

Таблица 7-39

Верхние пределы уставок мгновенного срабатывания расцепителей автоматов А2000Н

Номинальный ток катушки максимального расцепителя, *а*	100	140	200	300	400	550
Верхний предел уставки тока мгновенного срабатывания по каталогу, *а* . . .	750	875	1 150	1 600	2 000	2 600
То же с пружинами ПР254, *а*	1 280	1 550	2 000	2 300	3 500	4 700

строить всю серию возможных характеристик. Аналогичным образом могут быть построены характеристики автоматов с усиленными пружинами (табл. 7-39).

В качестве примера на рис. 7-32 построены зоны, в пределах которых лежат возможные характеристики автоматов А2030Н с катушками максимальных расцепителей на 800 *а* (кривые *А* толстыми линиями) и на 550 *а* (кривые *Б* штриховыми линиями). Характеристики (рис. 7-32) построены для случая, когда указатели часовых механизмов установлены на метке 1 (или макс). Истинная характеристика каждого отдельного автомата зависит от фактических уставок тока замедленного срабатывания (верхняя точка кривой) и тока мгновенного срабатывания (нижняя точка кривой).

В табл. 7-40 указано, какой вид на рис. 7-32 будут иметь истинные характеристики автомата с катушкой 800 *а*, когда он будет отрегулирован на крайние, возможные для него уставки тока срабатывания.

Для любых других уставок истинные характеристики можно построить следующим образом:

точка истинной уставки тока замедленного срабатывания откладывается в соответствующем месте на верхней границе зоны между точками *1* и *6*;

точка истинной уставки тока мгновенного отключения откладывается в соответствующем месте на прямой *4—9*;

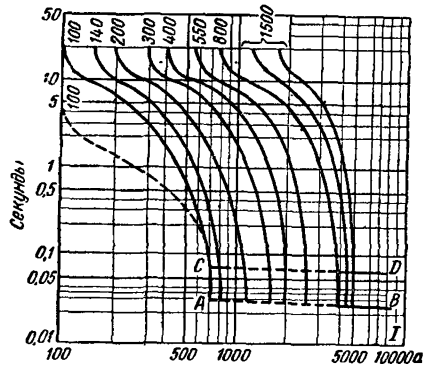


Рис. 7-31. Типовые защитные характеристики автоматов А2000Н при наибольшей уставке тока замедленного срабатывания и наибольшей уставке тока мгновенного срабатывания.

истинная характеристика автомата проводится между этими двумя точками внутри границ очерченной зоны подобно тому, как указано в табл. 7-40.

Характеристики, аналогичные рис. 7-32, могут быть

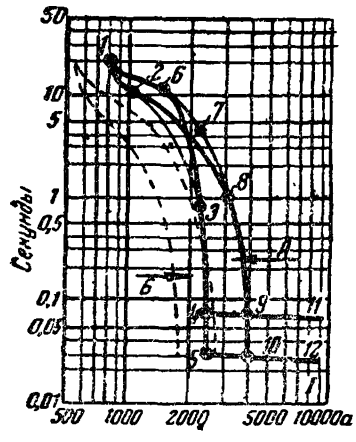


Рис. 7-32. Зоны возможных характеристик автомата А2030Н.
А — максимальный расцепитель с катушками 800 *а*; *Б* — то же, с катушками 550 *а*.

построены для автоматов, имеющих катушки максимальных расцепителей на другие номинальные токи.

При установке указателя часового механизма на другую метку верхняя точка характеристик автомата опускается на соответствующую величину, а правая часть характеристики остается неизменной. Пример такой характеристики при уставке часового механизма $^1/_4$ или мин показан штриховой линией для автомата 100 *а* на рис. 7-31.

Наклонные линии *5—10—12* и *4—9—11* на рис. 7-32 характеризуют время удара якоря по валику механизма расцепления при токе короткого замыкания и полное время отключения автомата до разрыва дуги тока короткого замыкания.

Таблица 7-40

Уставка тока замедленного срабатывания, *а*	Уставка тока мгновенного срабатывания, *а*	Истинная характеристика пройдет по указанным на рис. 7-32 точкам
800	2 500	*1-2-3-4-5*
800	4 000	*1-2-8-9-10*
1 600	2 500	*6-3-4-5*
1 600	4 000	*6-7-8-9-10*

Выбор автоматов

Параметры автоматов должны удовлетворять условиям (7-12)—(7-14).

Уставка на ток замедленного срабатывания должна быть примерно равна 1,25 расчетного тока нагрузки цепи.

Уставка на ток мгновенного отключения должна быть примерно равна 1,25 кратковременной перегрузки, возможной в условиях эксплуатации. Во всех случаях, когда это не противоречит условию селективности, ток мгновенного отключения целесообразно брать возможно большей величины.

Для обеспечения селективной работы последовательно включенных автоматов уставки для них следует выбирать таким образом, чтобы их характеристики не пересекались. Для этого необходимо, чтобы у автомата, расположенного ближе к источнику питания, уставки тока замедленного и мгновенного срабатывания были выше соответствующих уставок автомата, расположенного ближе к потребителю. При любой перегрузке, меньшей тока уставки мгновенного отключения автомата, расположенного ближе к источнику питания, селективность будет соблюдена. Если же ток короткого замыкания будет выше тока уставки мгновенного отключения автомата, расположенного ближе к источнику питания, селективное действие А2000Н невозможно, так как все последовательно включенные автоматы почти одновременно отключатся.

д) Автоматы А2000Б

Параметры автоматов

Автоматы А2000Б, предназначенные для применения в установках переменного тока до 380 *в* и постоянного до 250 *в* аналогичны по своим параметрам и характеристикам автоматам А2000Н, но имеют дополнительно замедлитель расцепления защелки, с помощью которого осуществляется выдержка времени. Эта выдержка времени по заказу может регулироваться заводом на 0.25; 0,3; 0,4; 0,6 *сек*.

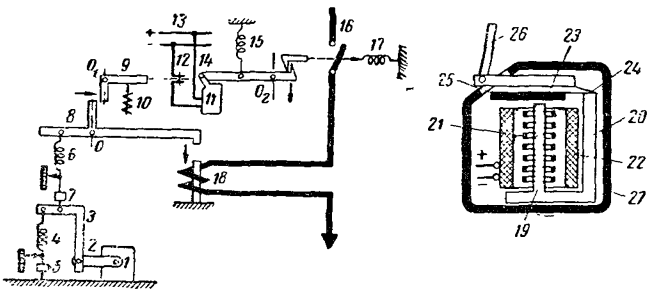


Рис. 7-33. Расцепитель автомата А2000Б.

а — схема действия расцепителя А2000Б; *б* — схема устройства замедлителя расцепления; *1* — часовой механизм; *2* — рычаг на валу часового механизма; *3* — скоба тяги; *4* — пружина уставки тока замедленного срабатывания; *5* — регулятор (винт) натяжения пружины *4* с указателем шкалы уставки тока замедленного срабатывания; *6* — пружина уставки тока мгновенного срабатывания максимального расцепителя; *7* — регулятор (винт) натяжения пружины *6* с указателем шкалы уставки тока мгновенного срабатывания; *8* — якорь максимального расцепителя (*О* — ось вращения); *9* — валик, на отростки которого воздействуют якори *8* максимальных расцепителей всех полюсов автомата (O_1 — ось вращения); *10* — катушка независимого расцепителя; *11* — замедлитель расцепления; *12* — нормально замкнутый контакт в цепи питания замедлителя; контакт размыкается при повороте валика *9*; *13* — источник выпрямленного тока для питания катушки замедлителя *11*; *14* — рычаг-защелка (O_2 — ось вращения); *15* — пружина, оттягивающая защелку *14* после прекращения удерживания ее замедлителем *11*; *16* — главная цепь автомата; *17* — отключающая пружина; *18* — катушка максимального тока; *19* — сердечник; *20* — ярмо; *21* — электромагнитный демпфер (набор медных шайб); *22* — катушка постоянного тока; *23* — якорь; *24* — ось вращения якоря; *25* — немагнитная прокладка; *26* — рычаг, удерживающий защелку *14*; *27* — кожух для предохранения демпфера от воздействия внешних магнитных полей.

Схемы действия расцепителей автомата А2000Б и устройства замедлителя расцепления приведены на рис. 7-33.

В табл. 7-41 указаны токи, потребляемые катушкой замедлителя расцепления, для разных напряжений постоянного тока.

Таблица 7-41

Потребление катушек замедлителя расцепления автоматов А2000Н

Напряжение постоянного тока, *в* . .	110	180	220
Потребление катушки, *ма*	200	115	110

В схеме замедлителя имеется блокировка, предотвращающая возможность самопроизвольного отключения автомата в том случае, если на катушке замедлителя пропадает напряжение по причинам (обрыв проводов и т. п.), не связанным с поворотом якоря максимального расцепителя. При отсутствии напряжения на катушке замедлителя автомат А2000Б работает без замедления, т. е. подобно автомату А2000Н.

У автоматов А2000Б не предусмотрена установка минимального расцепителя. Независимый расцепитель может быть установлен лишь на место максимального расцепителя средней фазы.

Технические данные автоматов А2000Б приведены в табл. 7-42.

Указанные в табл. 7-42 отключаемые автоматами токи — это максимальные мгновенные значения тока при напряжении до 380 *в* и $\cos\varphi = 0{,}3 \div 0{,}4$. Максимальные расцепители автоматов А2000Б во всем подобны расцепителям А2000Н. Поэтому характеристики автоматов А2000Б могут быть построены по характеристикам автоматов А2000Н путем добавления к каждой точке кривой

Таблица 7-42

Технические данные автоматов А2000Б

Тип	Автомат				Максимальный расцепитель		
	$I_н$, *а*	$U_н$, *в*	Число полюсов	Количество максимальных расцепителей	Номинальный ток катушек, *а*	Токи уставки по шкале	
						Защита от перегрузки, *а*	Защита от токов к. з., *а*
А2030Б	800	Переменный ток 380 *в*	2	2	100	150—250	450—750
					140	180—300	550—875
					200	230—400	700—1 150
			3	2	300	320—600	1 000—1 600
		Постоянный ток 250 *в*			400	400—800	1 300—2 000
			3	3	550	550—1 000	1 700—2 600
					800	800—1 600	2 500—4 000
А2050Б	1 500	Переменный ток 500 *в*	2	2		1 300—1 800	3 200—4 500
						1 800	5 000
			3	2	1 500	1 800—3 000	3 200—4 500; 5 000
		Постоянный ток 440 *в*	3	3		1 300—1 800	3 200—4 500
						1 800—3 000	5 000

величины выдержки времени замедлителя расцепления, которая не зависит от величины тока. Все отмеченное выше о зонах возможных характеристик автоматов А2000Н и о выборе истинной характеристики автомата в пределах зоны в зависимости от фактических уставок токов и часового механизма действительно также для автоматов А2000Б.

Средние характеристики расцепителей автоматов А2000Б приведены на рис. 7-34. Эти характеристики соответствуют: наибольшему току срабатывания защиты от коротких замыканий, наименьшему току срабатывания защиты от перегрузки, максимальному положению часовых механизмов максимальных расцепителей и выдержке времени замедлителей расцепления 0,25 и 0,6 *сек*.

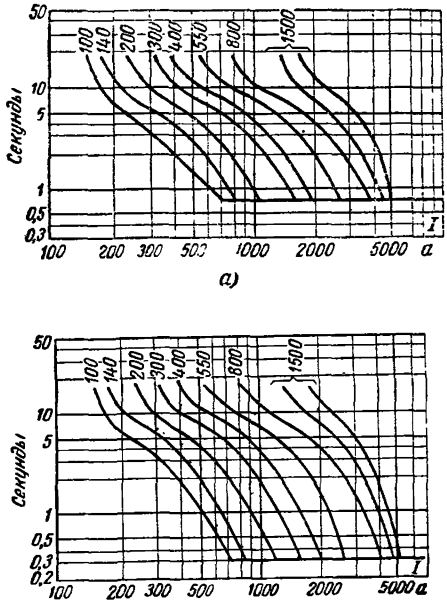


Рис. 7-34. Средние характеристики расцепителей автоматов А2000Б при уставках, соответствующих: наименьшему току срабатывания защиты от перегрузки; наибольшему току срабатывания защиты от коротких замыканий; наибольшей уставке времени действия защиты от перегрузки.

а — наибольшая уставка времени действия замедлителя расцепления защелки; *б* — то же наименьшая.

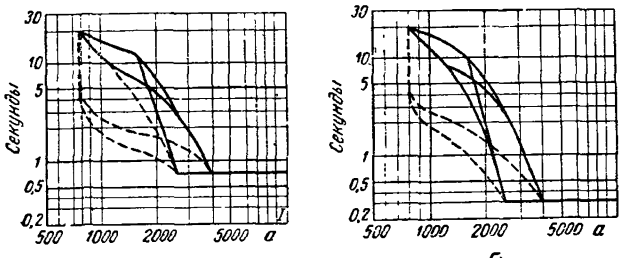


Рис. 7-35. Зоны возможных характеристик автомата А2030Б с расцепителем 800 *а* при крайних уставках тока и времени. *а* — автомат снабжен замедлителем расцепления защелки с наибольшим возможным временем замедления (0,6 *сек*); *б* — то же с наименьшим возможным временем замедления (0,25 *сек*).

По средним характеристикам автоматов А2000Б можно определить зоны возможных характеристик для каждого автомата так же, как это делалось для автоматов А2000Н. Такое построение для автомата типа А2030Б с расцепителем 800 *а* выполнено на рис. 7-35.

Сплошными линиями показана зона возможных характеристик для случая, когда указатели часовых механизмов установлены на метке наибольшей возможной выдержки времени **1** (или **макс**), а пунктирной — на метке наименьшей устойчиво возможной выдержки времени $^1/_4$ (или **мин**).

Истинная характеристика автоматов А2030Б будет определяться в зависимости от уставок тока замедленного и мгновенного срабатывания.

Выбор автоматов

Выбор автоматов А2000Б производится согласно условиям (7-12)—(7-14) с учетом следующего:

а) выдержки времени автоматов А2000Б больше, чем у соответствующих автоматов А2000Н, на постоянную величину;

б) пружины ПР254 для автоматов А2000Б не применяются;

в) с помощью регулировки на последовательно включенных автоматах разных выдержек времени замедлителей расцепления можно обеспечить избирательность их действия во всем диапазоне токов перегрузки и токов короткого замыкания; это является существенным преимуществом автоматов типа А2000Б.

е) Автоматы А15

Автоматы А15 аналогичны по своим характеристикам автоматам А2000 (табл. 7-43).

Габаритные и установочные размеры автоматов А15 даны в табл. 7-44 (рис. 7-26).

Основные технические данные автоматов типа А15 приведены в табл. 7-45 и 7-46.

Таблица 7-43

Автоматы типов А15 и А2000, имеющие аналогичные характеристики

А2000	А15
А2000 с масляными демпферами	А15Д
А2000Н	А15Н
А2000Б	А15С

Таблица 7-44

Размеры автоматов типа А15

Тип автомата	Число полюсов	Размеры, *мм*						
		А	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*	*Ж*
А15-4,	2	320	270	450	400	82	58	373
А15-4Д	3	380	330	450	400	120	100	438
А15-8,	2	320	270	500	450	82	58	373
А15-8Д	3	380	330	500	450	120	100	438
А15-8Н	2	310	260	500	450	82	58	363
А15-8С	3	390	340	500	450	120	100	443

ж) Автоматы АВ

Автоматы АВ предназначены для работы в установках постоянного тока напряжением до 220 *в* и переменного тока 50 *гц* напряжением до 380 *в*. Они служат для отключения цепей при редко возникающих коротких замыканиях, недопустимых перегрузках, а также для нечастых — отключений цепей при нормальных условиях работы.

При пониженной отключающей способности автоматы могут работать при напряжении переменного тока до 500 *в* и постоянного до 460 *в*.

Таблица 7-45

Технические данные автоматов типов А15-4 и А15-8

Автомат						Максимальное расцепление	
Тип	$I_н$, *а*	Число		Отключаемый ток к. з., *а*		Номинальный ток катушки, *а*	Токи уставки, маркируемые на шкале, *а*
		полюсов	расцепителей	переменный до 500 *в*	постоянный до 440 *в*		
А15-4	400	2 3	2 3	40 000	30 000	100 150 250 400	100, 150, 200 150, 225, 300 250, 375, 500 400, 600, 800
А15-8	800	2 3	2 3	40 000	30 000	600 800	600, 900, 1 200 800, 1 200, 1 600

Таблица 7-46

Технические данные автоматов типов А15-8Н и А15-8С

Автомат						Максимальные расцепители		
Тип	$I_н$, *а*	Число		Отключаемый ток к. з.		Номинальный ток катушки, *а*	Токи уставки по шкале	
		полюсов	расцепителей	переменный до 500 *в*	постоянный до 400 *в*		замедленного, *а*	мгновенного, *а*
А15-8Н	800	2	2	40 000	30 000	100 140 200 300	150, 250 180, 300 230, 400 320, 600	450, 725 550, 875 700, 1 150 1 000, 1 600
А15-8С		3	3			400 550 800	400, 800 550, 1 000 800, 1 600	1 300, 2 000 1 700, 2 600 2 500, 4 000

Таблица 7-47

Классификация автоматов серии АВ

Обозначение	Тип автомата
АВ4, АВ10, АВ15, АВ20	Автоматический выключатель на номинальный ток 400, 1 000, 1 500, 2 000 *а*
С	Селективные автоматы с выдержкой времени при перегрузках и токах короткого замыкания
Н	Селективные автоматы с выдержкой времени при перегрузках и мгновенном срабатывании при токах короткого замыкания
Б	Без выдержки времени при перегрузках и токах короткого замыкания
В	Выдвижное исполнение
М	Морское исполнение
ТВ	Тропическое исполнение для работы в условиях влажного тропического климата
ТС	Тропическое исполнение для работы в условиях сухого тропического климата

Автоматы выпускаются только в открытом исполнении и не рассчитаны для работы в средах, насыщенных токопроводящей пылью, содержащих едкие пары или газы, разрушающие металлы и изоляцию, а также в местах, не защищенных от прямого попадания влаги.

Автоматы рассчитаны для работы в следующих условиях:

высота над уровнем моря не выше 1 000 *м*;

температура окружающей среды:

для автоматов общего применения — до +35° С при относительной влажности воздуха 70%;

для автоматов морского исполнения — до +40° С при относительной влажности воздуха 95%;

для автоматов тропического исполнения при влажном тропическом климате (ТВ) — до +40° С, при относительной влажности 95%; до +35° С — при тропическом сухом климате (ТС); до +55° С — при относительной влажности: наименьшей 10% при +40° С, наибольшей 80% при +20° С.

Классификация автоматов дана в табл. 7-47.

Предусмотрено выполнение автоматов с приводами четырех типов:

а) электродвигательный (все типы);

б) рукоятка (все типы, за исключением АВ15ББ, АВ15ББ-ТС, АВ15ББ-ТВ, АВ15НВ, АВ15НВ-ТВ, АВ15НВ-ТС, АВ15СВ);

в) рычажный (все типы, за исключением типа В);

г) электромагнитный (только на автоматах серий АВ15Б, АВ15БМ, АВ15Б-ТВ, АВ15Б-ТС, АВ15Н, АВ15НМ, АВ15Н-ТВ, АВ15Н-ТС).

Автоматы могут применяться в электрических установках, максимальные токи в которых не превышают значений, приведенных в табл. 7-48.

Полное время включения автомата (от момента подачи напряжения на привод до полного включения автомата) с электродвигательным приводом при постоянном токе — порядка 0,55 *сек*, при переменном токе — порядка 0,35 *сек*.

Полное время включения автомата с электромагнитным приводом — порядка 0,25 *сек*.

Полное время отключения автоматов мгновенного срабатывания АВ4 и АВ10—0,06 *сек*, АВ15—0,088 *сек*, АВ20 — 0,095 *сек*.

Основные данные автоматов АВ приведены в табл. 7-49.

Таблица 7-48

Предельные допустимые значения токов короткого замыкания для автоматов серии АВ

Тип автомата	Исполнение	Ток к. з. при $\cos\varphi > 0{,}3$ при напряжении переменного тока				Максимальный отключаемый ток, *ка*, при постоянном напряжении и постоянной времени 0,01 *сек*	
		Амплитуда ударного тока, *ка*		$I_{действ}$ в полупериод, соответствующий полупериоду появления дуги при отключении, *ка*			
		до 400 *в*	до 500 *в*	до 400 *в*	до 500 *в*	до 220 *в*	до 460 *в*
АВ4 АВ10	Все исполнения*	42	40	17	10	40	30
АВ15	Встроенный в ячейки распредустройства (выдвижной)	60	40	25	20	45	30
	Невыдвижной селективный	65	40	25	20	45	30
	Невыдвижной селективный и мгновенного срабатывания	65	40	30	20	45	30
	Встроенный в ячейке распредустройства (выдвижной)	60	40	25	20	45	30
АВ20	Невыдвижной селективный	75	40	25	20	45	30
	Невыдвижной и селективный мгновенного срабатывания	75	40	30	20	45	30

Таблица 7-49

Технические данные автоматов серии АВ

Тип автомата	$I_н$ автомата, *а*	$I_н$ катушки максимального расцепителя, *а*	Уставки тока срабатывания максимальных расцепителей, *а*		Уставки выдержки времени селективных автоматов, *сек*
			на шкале замедленного срабатывания	на шкале мгновенного срабатывания	
АВ4Б	400	100	—	100, 150, 200	—
АВ4БМ		150	—	150, 225, 300	—
АВ4Б-ТВ*		250	—	250, 375, 500	—
АВ4Б-ТС		400	—	400, 600, 800	—
АВ4ББ		—	—	—	—
АВ4ББ-ТВ		—	—	—	—
АВ4ББ-ТС*		—	—	—	—
АВ4Н	400	120	150, 250	960, 1 300	—
АВ4НМ		150	190, 300	1 200, 1 650	—
АВ4Н-ТВ		200	250, 400	1 600, 2 200	—
АВ4Н-ТС*		250	310, 500	2 000, 2 750	—
АВ4НВ		300	375, 600	2 400, 3 300	—
АВ4НМ-ТВ		400	500, 800	3 200, 4 400	—
АВ4НВ-ТС*		—	—	—	—
АВ4С	400	120	150, 250	960, 1 300	0,25—0,4 или 0,4—0,6
АВ4СМ		150	190, 300	1 200, 1 650	
АВ4С-ТВ		200	250, 400	1 600, 2 200	
АВ4С-ТС*		250	310, 500	2 000, 2 750	
АВ4СВ		300	375, 600	2 400, 3 300	
АВ4СВ-ТС*		400	500, 800	3 200, 4 000	
АВ10Б	1 000	600	—	600, 900, 1 200	—
		800	—	800, 1 200, 1 600	—
		1 000	—	1 000, 1 500, 2 000	—
АВ10БМ	800	600	—	600, 900, 1 200	—
АВ10Б-ТВ		800	—	800, 1 200, 1 600	—
АВ10Б-ТС*		—	—	—	—
АВ10ББ		—	—	—	—
АВ10ББ-ТВ		—	—	—	—
АВ10ББ-ТС*		—	—	—	—
АВ10Н	1 000	500	625, 1 000	4 000, 5 500	—
		600	750, 1 200	4 800, 6 600	—
		800	1 000, 1 600	6 000, 8 000	—
		1 000	1 500, 2 000	8 000, 10 000	—
АВ10НМ	800	500	625, 1 000	4 000, 5 500	—
АВ10Н-ТВ		600	750, 1 200	4 800, 6 600	—
АВ10Н-ТС*		800	1 000, 1 600	6 000, 8 000	—
АВ10НВ	750	500	625, 1 000	4 000, 5 500	—
АВ10НВ-ТВ		600	750, 1 200	4 800, 6 600	—
АВ10НВ-ТС*		750	1 000, 1 600	6 000, 8 000	—

Продолжение табл. 7-45

Тип автоматов	$I_н$ автомата, *а*	$I_н$ катушки максимального расцепителя, *а*	Уставки тока срабатывания максимальных расцепителей, *а*		Уставки выдержки времени селективных автоматов, *сек*
			на шкале замедленного срабатывания	на шкале мгновенного срабатывания	
АВ10С	1 000	500 600 800 1 000	625, 1 000 750, 1 200 1 000, 1 600 1 500, 2 000	4 000, 5 500 4 800, 6 600 6 000, 8 000 8 000, 10 000	0,25—0,4 или 0,4—0,6
АВ10СМ АВ10С-ТВ АВ10С-ТС* АВ10СВ	800	500 600 800 —	625, 1 000 750, 1 200 1 000, 1 600 —	4 000, 5 500 4 800, 6 600 6 000, 8 000 —	0,25—0,4 или 0,4—0,6
АВ10СВ-ТВ АВ10СВ-ТС*	750	500 600 750	625, 1 000 750, 1 200 1 000, 1 600	4 000, 5 500 4 800, 6 600 6 000, 8 000	0,25—0,4 или 0,4—0,6
АВ15Б	1 500	1 000 1 500	— —	1 000, 1 500, 2 000 1 500, 2 200, 3 000	— —
АВ15БМ	~1 400 =1 500	≅1 000 ~1 400 =1 500	— — —	1 000, 1 500, 2 000 1 500, 2 200, 3 000 1 500, 2 200, 3 000	— — —
АВ15Б-ТВ АВ15Б-ТС*	1 200	1 000 1 200	— —	1 000, 1 500, 2 000 1 200, 1 800, 2 400	— —
АВ15ББ	1 150	800 1 150	— —	900, 1 200, 1 600 1 000, 1 500, 2 000	— —
АВ15ББ-ТВ АВ15ББ-ТС	1 000	800 1 000	— —	800, 1 200, 1 600 1 000, 1 500, 2 000	— —
АВ15Н	1 500	1 000 1 200 1 500	1 250, 2 000 1 500, 2 400 1 800, 3 000	8 000 1 000	
АВ15НМ	~1 400 =1 500	≅1 000 ≅1 200 ~1 400 =1 500	1 250, 2 000 1 500, 2 400 1 800, 3 000 1 800, 3 000		
АВ15Н-ТВ АВ15Н-ТС*	1 200	1 000 1 200	1 250, 2 000 1 500, 2 400		
АВ15НВ	1 150	800 1 150	1 000, 1 600 1 450, 2 300		
АВ15НВ-ТВ АВ15НВ-ТС*	1 000	800 1 000	1 000, 1 600 1 250, 2 000		
АВ15С	1 500	1 000 1 200 1 500	1 250, 2 000 1 500, 2 400 1 800, 3 000		0,25—0,4 или 0,4—0,6

Продолжение табл. 7-49

Тип автоматов	$I_н$ автомата, *а*	$I_н$ катушки максимального расцепителя, *а*	Уставки тока срабатывания максимальных расцепителей, *а*		Уставки выдержки времени селективных автоматов, *сек*
			на шкале замедленного срабатывания	на шкале мгновенного срабатывания	
АВ15СМ	~1 400 =1 500	≅1 000 ≅1 200 ~1 400 =1 500	1 250, 2 000 1 500, 2 400 1 800, 3 000 1 800, 3 000	8 000 1 000	0,25—0,4 или 0,4—0,6
АВ15С-ТВ АВ15С-ТС*	1 200	1 000 1 200	1 250, 2 000 1 500, 2 400		
АВ15СВ	1 150	800 1 150	1 000, 1 600 1 450, 2 300		
АВ15СВ-ТВ АВ15СВ-ТС*	1 000	800 1 000	1 000, 1 600 1 250, 2 000		
АВ20Б	2 000	1 500 2 000	— —	1 500, 2 000, 3 000 2 000, 3 000, 4 000	— —
АВ20БМ АВ20Б-ТВ АВ20Б-ТС*	~1 800 =2 000	≅1 500 ~1 800 =2 000	— — —	1 500, 2 000, 3 000 1 500, 2 000, 3 000 2 000, 3 000, 4 000	— — —
АВ20ББ АВ20ББ-ТВ АВ20ББ-ТС*	~1 500 =2 000	~1 000 ≅1 500 =2 000	— — —	1 000, 1 500, 2 000 1 500, 2 200, 3 000 2 000, 3 000, 4 000	— — —
АВ20Н	2 000	1 000 1 200 1 500 2 000	1 250, 2 000 1 500, 2 400 1 800, 3 000 2 500, 4 000	8 000, 10 000	— — — —
АВ20НМ АВ20Н-ТВ АВ20Н-ТС*	~1 800 =2 000	≅1 000 ≅1 200 ≅1 500 ~1 800 =2 000	1 250, 2 000 1 500, 2 400 1 800, 3 000 2 250, 3 600 2 500, 4 000		— — — — —
АВ20НВ АВ20НВ-ТВ АВ20НВ-ТС*	~1 500 =2 000	≅1 000 ≅1 200 ≅1 500 =2 000	1 250, 2 000 1 500, 2 400 1 800, 3 000 2 500, 4 000		— — — —
АВ20С	2 000	1 000 1 200 1 500 2 000	1 250, 2 000 1 500, 2 400 1 800, 3 000 2 500, 4 000		0,25—0,4 или 0,4—0,6
АВ20СМ АВ20С-ТВ АВ20С-ТС*	~1 800 =2 000	≅1 000 ≅1 200 ≅1 500 ~1 800 =2 000	1 250, 2 000 1 500, 2 400 1 800, 3 000 2 250, 3 600 2 500, 4 000		

Продолжение табл. 7-49

Тип автомата	$I_н$ автомата, *а*	$I_н$ катушки максимального расцепителя, *а*	Уставки тока срабатывания максимальных расцепителей, *а*		Уставки выдержки времени селективных автоматов, *сек*
			на шкале замедленного срабатывания	на шкале мгновенного срабатывания	
АВ20СВ АВ20СВ-ТВ АВ20СВ-ТС*	~1 500 =2 000	≅1 000 ≅1 200 ≅1 500 =2 000	1 250, 2 000 1 500, 2 400 1 800, 3 000 2 500, 4 000	8 000, 10 000	0,25—0,4 или 0,4—0,6

* Номинальный ток автомата и номинальный ток максимальных расцепителей в исполнении ТС снижается на 10%. Уставки тока срабатывания не изменяются.

Автоматы могут поставляться с максимальной токовой защитой в следующих исполнениях:

с мгновенными максимальными расцепителями;

с максимальными расцепителями, срабатывающими мгновенно при коротких замыканиях, и с выдержкой времени, обратно зависимой от тока при перегрузках;

с максимальными расцепителями, срабатывающими с независимой от тока выдержкой времени при коротких замыканиях (0,25—0,4 или 0,4—0,6 *сек*) и с выдержкой времени, обратно зависимой от тока при перегрузках.

Максимальное время действия расцепителей при наименьшей уставке по току на шкале перегрузок — не менее 10 *сек*.

Часовой механизм допускает регулировку выдержки времени. На шкале часового механизма наносятся три метки (**макс, мин** и **0**).

Автоматы могут иметь один добавочный расцепитель: независимый или минимальный; селективные автоматы не могут иметь минимального расцепителя.

Независимый расцепитель работает при напряжении на его катушке 50—110% номинального.

Минимальный расцепитель отключает автомат при напряжении 40% номинального и менее.

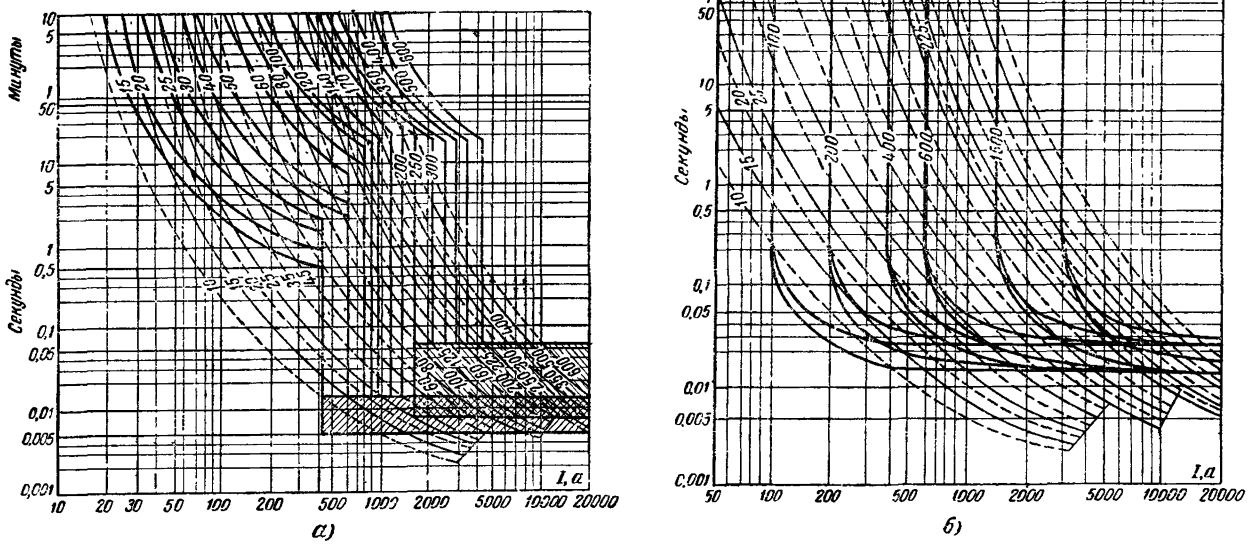
з) Проверка селективности при комбинированной защите сети аппаратами разных типов

При защите сети аппаратами разных типов для проверки селективности необходимо совмещать характеристики последовательно включенных аппаратов.

Если окажется, что на всем диапазоне возможных значений токов короткого замыкания и перегрузки характеристики не пересекаются, значит, условие селективности соблюдено.

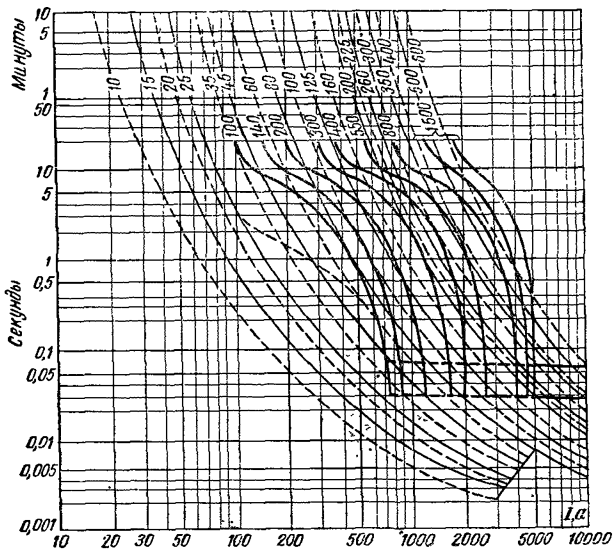
При анализе селективности нужно принимать во внимание возможное изменение характеристик аппаратов.

На рис. 7-36 приведены графики, на которых в одинаковом масштабе и в одних осях координат наложены характеристики двух типов аппаратов. Рассматривая эти характеристики с учетом возможной погрешности аппаратов и учитывая для каждого конкретного случая вероятные значения токов короткого замыкания и перегрузки, можно достаточно точно оценить, обеспечена или нет селективность.

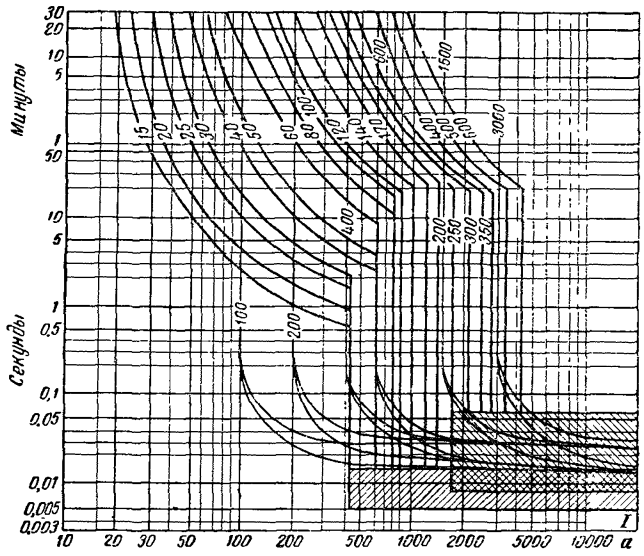


а) *б)*

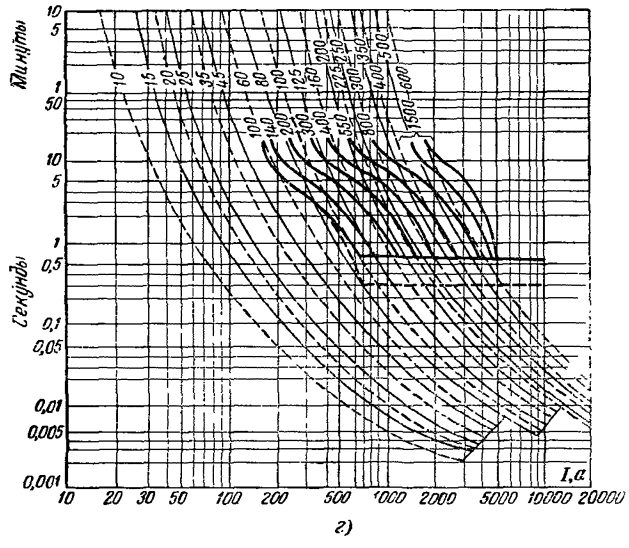
Рис. 7-36.



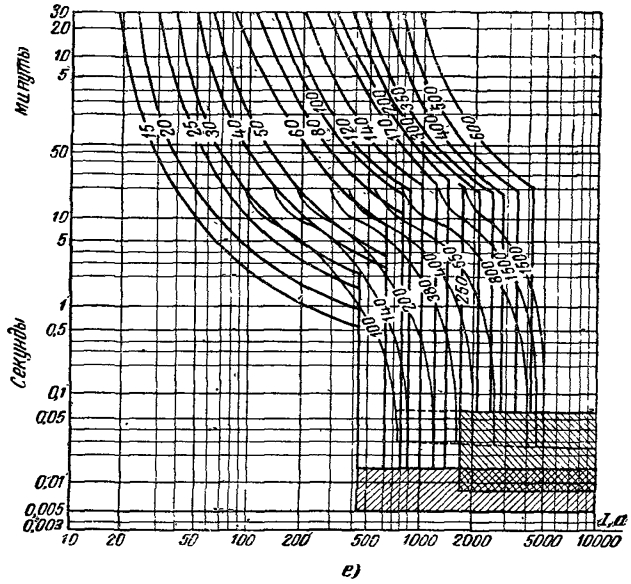
в)



д)



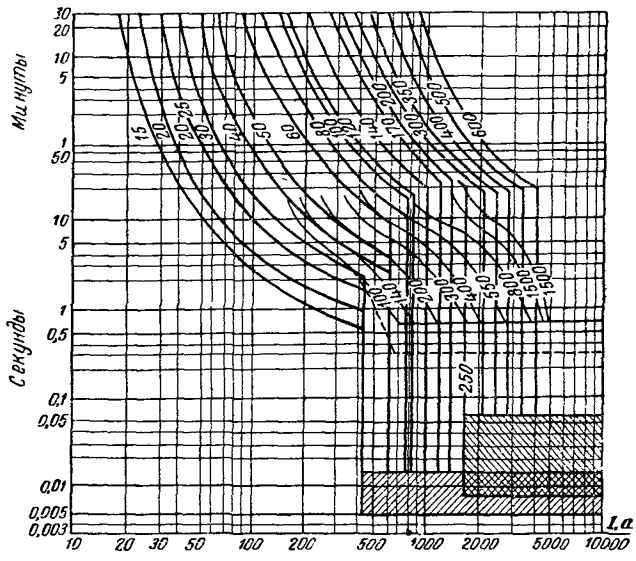
г)

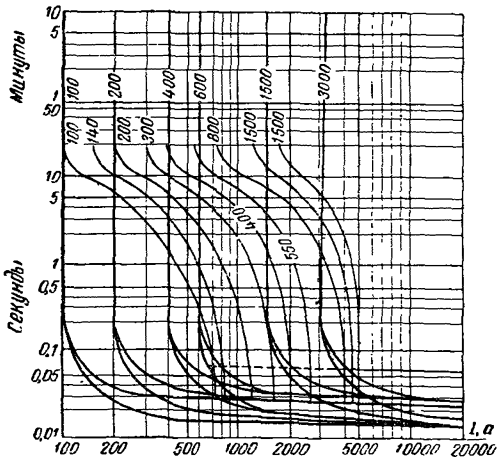


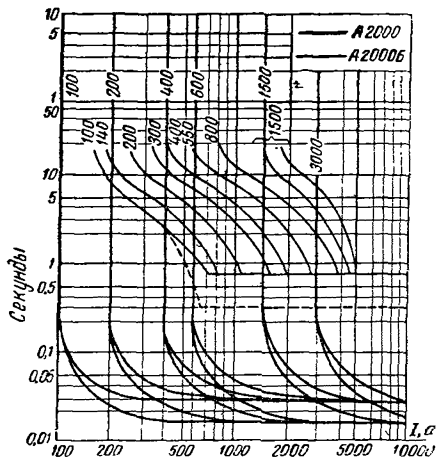
е)

Рис. 7-36. Проверка селективности при комбинированной защите разных участков сети.

а — автоматами А3000 и предохранителями НПН и НПР; *б* — автоматами А2000 и предохранителями НПН и НПР; *в* — автоматами А2000Н и предохранителями НПР и НПН; *г* — автоматами А2000Б и предохранителями НПН и НПР; *д* — автоматами А2000 и А3000; *е* — автоматами А2000Н и А3000







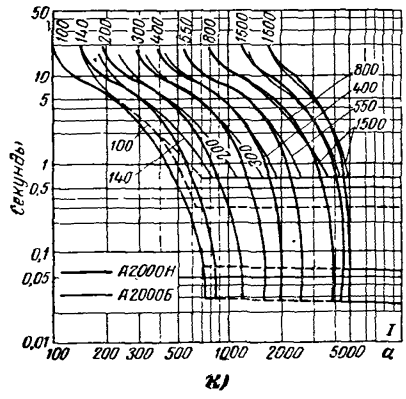


Рис. 7-36. Проверка селективности при комбинированной защите разных участков сети.

ж — автоматами А2000Б и А3000; *з*—автоматами А2000Н и А2000; *и* — автоматами А2000 и А2000Б; *к* — автоматами А2000Н и А2000Б.

РАЗДЕЛ ВОСЬМОЙ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

8-1. КАБЕЛИ КОНТРОЛЬНЫЕ

Кабели контрольные предназначены для работы в сетях с напряжением до 500 *в* переменного тока и 1 000 *в* постоянного тока.

Токопроводящие жилы контрольных кабелей сечением от 0,75 до 10 *мм*^{2} состоят из одной мягкой медной проволоки, за исключением кабелей с резиновой изоляцией сечением 10 *мм*^{2}, каждая жила которых состоит из семи мягких проволок.

Размеры жил кабелей приводятся в табл. 8-1.

Жилы изготавливаются из мягкой отожженной проволоки из электролитической меди марки М-1 по ГОСТ 859-41. Сопротивление медной жилы постоянному току при температуре +20° С должно быть не более 18,4 *ом/км · мм*^{2}.

Марки контрольных кабелей, условия прокладки и сортамент приведены в табл. 8-2 и 8-3.

Сопротивление изоляции каждой жилы кабеля относительно всех других жил, соединенных вместе и с оболочкой, должно быть не менее 50 *Мом/км* при температуре +20° С.

Готовые кабели испытываются напряжением 2 000 *в*, 50 *гц*.

Таблица 8-1

Размеры жил контрольных кабелей

Номинальное сечение жилы, *мм*²	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10
Фактическое сечение жилы, *мм*²	0,74	1,00	1,47	2,43	3,94	5,85	9,8 9,72
Число и диаметр проволок, *мм*	1×0,97	1×1,13	1×1,37	1×1,76	1×2,24	1×2,73	1×3,52 7×1,33

Таблица 8-2

Сортамент контрольных кабелей с медными жилами

Марка кабеля	Сечение жил, *мм*²						
	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10
	Число жил						
КАГ, КАБ, КАБГ	—	7, 8, 10, 12, 14, 16, 19, 24, 30, 37		5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 19, 24, 30, 37	4, 6, 7, 8, 10		4, 6, 7
КАП, КАПГ	—	12, 14, 16, 19, 24, 30, 37	10, 12, 14, 16, 19, 24, 30, 37	8, 10, 12, 14, 16, 19, 24, 30, 37	6, 7, 8, 10		4, 6, 7
КГС, КСА, КСБ, КСБГ	—	4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 19, 24, 30, 37			4, 6, 7, 8, 10		
КСП, КСПГ	—	12, 14, 16, 19, 24, 30, 37	10, 12, 14, 16, 19, 24, 30, 37	8, 10, 12, 14, 16, 19, 24, 30, 37	6, 7, 8, 10		4, 6, 7, 8, 10
КСК	—	10, 12, 14, 16, 19, 24, 30, 37		8, 10, 12, 14, 16, 19, 24, 30, 37	6, 7, 8, 10	4, 6, 7, 8, 10	
КСРГ, КСРА, КСРБ, КСРБГ, КНРГ, КНРБ, КНРБГ, КВРГ, КВРБ, КВРБГ	4, 5, 6, 7, 8, 10, 14, 19, 24, 30, 37				4, 6, 7, 8, 10		
КСРП, КСРПГ, КСРК	10, 14, 19, 24, 30, 37		8, 10, 14, 19, 24, 30, 37	6, 7, 8, 10, 14, 19, 24, 30, 37	6, 7, 8, 10	4, 6, 7, 8, 10	
КНРПГ, КВРПГ	6, 7, 8, 10, 14		5, 6, 7, 8, 10, 14, 19, 24, 30, 37	4, 5, 6, 7, 10, 14, 19, 24, 30, 37	4, 6, 7, 8, 10		

Таблица 8-3

Номенклатура контрольных кабелей с медными жилами

Условия прокладки кабелей	Конструкция	С изоляцией из пропитанной кабельной бумаги		С резиновой изоляцией	
		в алюминиевой оболочке, ГОСТ 6526-55	в свинцовой оболочке, ГОСТ 4376-53	в неметаллической оболочке, ГОСТ 1508-58	в свинцовой оболочке, ГОСТ 1508-58
В земле (в траншеях) при отсутствии значительных растягивающих усилий	Броня из двух стальных лент, наружный покров	КАБ	КСБ	КНРБ КВРБ	КСРБ
В земле (в траншеях) при наличии значительных растягивающих усилий	Броня из плоских стальных оцинкованных проволок, наружный покров	КАП	КСП	—	КСРП
Внутри помещений, в туннелях, каналах при отсутствии значительных растягивающих усилий	Броня из двух стальных лент	КАБГ	КСБГ	КВРБГ КНРБГ	КСРБГ
Внутри помещений, в шахтах при наличии значительных растягивающих усилий	Броня из плоских стальных оцинкованных проволок	КАПГ	КСПГ	КВРПГ КНРПГ	КСРПГ
Внутри помещений, в туннелях, каналах при отсутствии механических воздействий на кабель, в среде, нейтральной к свинцу, алюминию, защитному покрову	Без брони	КАГ	КСА КСГ	КВРГ КНРГ	КСРГ
Под водой	Броня из круглых стальных оцинкованных проволок, наружный покров	—	КСК	—	КСРК

Бумажная изоляция кабелей выполняется из кабельной бумаги толщиной 0,12 *мм* с последующей пропиткой маслоканифольным составом. Толщина изоляции жил всех сечений равна 0,65±0,06 *мм*.

Поясная изоляция имеет толщину 0,4±0,04 *мм*. Резиновая изоляция выполняется из теплостойкой резины типа РТИ-2 по ГОСТ 2068-54. Толщина резиновой изоляции равна 1 *мм* для жил с сечением 0,75 — 6 *мм*^{2} и 1,2 *мм* — для 10 *мм*^{2}.

Оболочки кабелей выполняются из свинца, алюминия, полихлорвинилового пластиката и шланговой негорючей резины. Назначение оболочки — защита изоляции от механических повреждений и увлажнения.

Поверх оболочек накладываются защитные покровы, предохраняющие оболочки от механических повреждений и от коррозии.

8-2. ПРОВОДА ОБМОТОЧНЫЕ

Обмоточные провода предназначены для изготовления обмоток электрических машин, электроизмерительных приборов, реле, добавочных сопротивлений и прочих электрических аппаратов.

Номенклатура обмоточных проводов, наиболее часто применяемых для обмоток реле, электроизмерительных приборов, электромагнитов управления выключателями и других аппаратов приведена в табл. 8-4.

Допустимая рабочая температура эмалированных проводов, изолированных лакостойкой эмалью, 100° С, провода, изолированные высокопрочной эмалью, допускают рабочую температуру 125° С, а провода с нагревостойкой эмалью — 180° С.

Пробивное напряжение медных круглых эмалированных проводов, скрученных между собой, указано в табл. 8-5, а прямоугольных — в табл. 8-6.

Медные эмалированные провода изготовляются из медной проволоки по ГОСТ 2112-46.

Основные данные их приведены в табл. 8-7.

Алюминиевые провода изготовляются из алюминия марки А0 или А1 по ГОСТ 3549-55. Размеры их приведены в табл. 8-8. Пробивное напряжение эмалированного алюминиевого провода при 20 скрутках на длине 200 *мм* не менее 500 *в* для проводов диаметром до 0,2 *мм* и не менее 600 *в* для большего диаметра.

Манганиновые и константановые эмалированные провода изготовляются из мягкой или твердой проволоки. Основное назначение их — добавочные сопротивления измерительных приборов, эталонные сопротивления и т. п. Константан употребляется для приборов более низкого класса точности, манганин — для более высокого. Основные характеристики их приведены в табл. 8-9.

Таблица 8-4

Номенклатура обмоточных проводов

Марка провода	Конструкция провода	ГОСТ, ВТУ
	А. Эмалированные провода медные и алюминиевые	
ПЭА	Провод алюминиевый, изолирован лакостойкой эмалью	ВТУ МЭП 763-51
ПЭАТ	Провод алюминиевый, изолирован высокопрочной эмалью	То же
ПЭВ-1	Провод медный, изолирован высокопрочной однослойной эмалью	ГОСТ 7262-54
ПЭВ-2	Провод медный, изолирован высокопрочной двухслойной эмалью	То же
ПЭВП	Провод медный, изолирован высокопрочной эмалью, прямоугольный	ВТУ МЭП 646-49
ПЭЛ	Провод медный, изолирован лакостойкой эмалью	ГОСТ 2773-51
ПЭЛР-1	Провод медный, изолирован высокопрочной (полиамидной) однослойной эмалью	ТУК ОММ 505. 073-54
ПЭЛР-2	Провод медный, изолирован высокопрочной (полиамидной) двухслойной эмалью	То же
ПЭЛУ	Провод медный, изолирован лакостойкой утолщенной эмалью	ГОСТ 2773-51
ПЭТК	Провод медный, изолирован нагревостойкой эмалью	ТУК ОММ 505. 163-55
	Б. Эмалированные провода из сплавов высокого сопротивления	
ПЭВКМ-1	Провод константановый мягкий, изолирован высокопрочной однослойной эмалью	ГОСТ 8598-57
ПЭВКМ-2	Провод константановый мягкий, изолирован высокопрочной двухслойной эмалью	То же
ПЭВКТ-1	Провод константановый твердый, изолирован высокопрочной однослойной эмалью	„ „
ПЭВКТ-2	Провод константановый твердый, изолирован высокопрочной двухслойной эмалью	„ „
ПЭВММ-1	Провод манганиновый мягкий, изолирован высокопрочной однослойной эмалью	„ „
ПЭВММ-2	Провод манганиновый мягкий, изолирован высокопрочной двухслойной эмалью	„ „
ПЭВМТ-1	Провод манганиновый твердый, изолирован высокопрочной однослойной эмалью	„ „
ПЭВМТ-2	Провод манганиновый твердый, изолирован высокопрочной двухслойной эмалью	„ „
ПЭВНХ-1	Провод нихромовый, изолирован высокопрочной однослойной эмалью	„ „
ПЭВНХ-2	Провод нихромовый, изолирован высокопрочной двухслойной эмалью	„ „
ПЭК	Провод константановый, изолирован лакостойкой эмалью	ГОСТ 6225-52
ПЭММ	Провод манганиновый мягкий, изолирован лакостойкой эмалью	То же
ПЭМТ	Провод манганиновый твердый, изолирован лакостойкой эмалью	„ „
ПЭНХ	Провод нихромовый, изолирован лакостойкой эмалью	ВТУ МЭП 670-47
ПЭТК-КМ	Провод константановый мягкий, изолирован нагревостойкой эмалью	ТУК ОММ 505. 179-55
ПЭТК-КТ	Провод константановый твердый, изолирован нагревостойкой эмалью	То же
ПЭТК-ММ	Провод манганиновый мягкий, изолирован нагревостойкой эмалью	„ „
ПЭТК-МГ	Провод манганиновый твердый, изолирован нагревостойкой эмалью	„ „
ПЭТК-НХ	Провод нихромовый, изолирован нагревостойкой эмалью	„ „
	В. Провода медные и алюминиевые с волокнистой изоляцией	
АПБД	Провод алюминиевый, изолирован двумя слоями хлопчатобумажной пряжи	ТУК ОММ 505 209-56
ПБД	Провод медный, изолирован двумя слоями хлопчатобумажной пряжи	ГОСТ 6324-52
ПБО	Провод медный, изолирован одним слоем хлопчатобумажной пряжи	То же
ПШД	Провод медный, изолирован двумя слоями обмотки из натурального шелка	„ „
ПШКД	Провод медный, изолирован двумя слоями обмотки из капрона	„ „
	Г. Провода медные с комбинированной изоляцией	
ПЭВВП	Провод медный, изолирован высокопрочной эмалью и полихлорвиниловым пластиком	ТУК ОММ 505 054-54
ПЭЛБД	Провод медный, изолирован эмалью и двумя слоями хлопчатобумажной пряжи	ГОСТ 6324-52
ПЭЛБО	Провод медный, изолирован эмалью с одним слоем хлопчатобумажной пряжи	То же
ПЭЛВ	Провод медный, изолирован лакостойкой эмалью и полихлорвиниловым пластиком	ТКУ 155-51

Продолжение табл. 8-4

Марка провода	Конструкция провода	ГОСТ, ВТУ
ПЭЛКО	Провод медиый, изолироваи эмалью с одним слоем капрона	ГОСТ 6324-52
ПЭЛШД	Провод медный, изолирован лакостойкой эмалью и двумя слоями натурального шелка	То же
ПЭЛШКД	Провод медный, изолирован лакостойкой эмалью и двумя слоями капрона	„ „
ПЭЛШКО	Провод медный, изолирован лакостойкой эмалью и одним слоем капрона	„ „
ПЭЛШО	Провод медный, изолирован эмалью и одним слоем капрона	„ „
Д. Провода из сплавов высокого сопротивления с комбинированной изоляцией		
ПЭБОК	Провод константановый, изолирован эмалью и одним слоем хлопчатобумажной пряжи	ГОСТ 6225-52
ПЭШОК	Провод константаиовый, изолирован эмалью и одним слоем шелка	То же
ПЭШОММ	Провод маигаииновый мягкий, изолирован эмалью и одним слоем шелка	„ „
ПЭШОМТ	Провод маигаииновый мягкий, изолирован эмалью и одним слоем шелка	„ „
Е. Провода из сплавов высокого сопротивления с волокнистой изоляцией		
ПШДК	Провод коистантановый, изолирован двумя слоями шелка	ГОСТ 6225-52
ПШДММ	Провод манганиновый мягкий, изолирован двумя слоями шелка	То же
ПШДМТ	Провод манганиновый твердый, изолирован двумя слоями шелка	„ „

Таблица 8-5

Пробивное напряжение скрученных между собой медных круглых эмалированных проводов

Диаметр провода, *мм*	Число скруток на 200 *мм*	Пробивное напряжение, *в*				Диаметр провода, *мм*	Число скруток на 200 *мм*	Пробивное напряжение, *в*			
		ПЭЛ	ПЭЛУ	ПЭВ-1	ПЭВ-2			ПЭЛ	ПЭЛУ	ПЭВ-1	ПЭВ-2
0,05—0,07	60	350	450	350	450	0,44—0,53	25	800	1 000	850	1 200
0,08—0,09	60	400	500	400	550	0,55—0,83	25	900	1 100	1 000	1 500
0,1—0,14	60	400	500	500	700	0,86—1,35	15	1 000	1 310	1 200	1 800
0,15—0,2	33	550	650	600	800	1,4—2,44	8	1 250	1 600	1 400	2 000
0,21—0,41	25	800	1 000	800	1 200						

Таблица 8-6

Пробивное напряжение и размеры медных эмалированных прямоугольных проводов

Размеры проводов по меди, *мм*	Наружные размеры, *мм*	Пробивное напряжение, *в*	Размеры проводов по меди, *мм*	Наружные размеры, *мм*	Пробивное напряжение, *мм*
0,5×2,83	0,63×2,97	175	1,16×4,18	1,3×4,33	250
0,5×8,8	0,63×8,97	175	1,25×2,1	1,39×2,25	250
0,6×4,7	0,73×4,87	175	1,25×5,9	1,39×6,08	250
0,8×4,4	0,93×4,54	200	1,3×4,96	1,44×5,14	250
0,83×2,1	0,96×2,24	200	1,35×2,44	1,49×2,59	250
0,83×3,53	0,96×3,67	200	1,43×3,53	1,58×3,69	250
0,9×2,83	1,03×2,97	200	1,5×2,85	1,65×3,01	250
1,0×3,8	1,13×3,94	200	1,68×4,4	1,83×4,56	250
1,08×5,1	1,22×5,28	250	1,81×3,8	1,96×3,96	250
1,16×2,1	1,3×2,25	250	1,81×4,4	1,96×4,56	250
1,16×3,05	1,3×3,2	250	1,95×4,4	2,1×4,56	250

Таблица 8-7

Обмоточные провода медные с эмалированной, волокнистой и комбинированной изоляцией

Диаметр меди, *мм*	ПЭЛУ		ПЭВ-1	ПЭВ-2	ПЭВ-1	ПБО		ПБД		ПЭЛБО		ПЭЛБД		ПЭЛШО		ПЭЛШКО	
	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*		Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*
0,05	0,068	0,01950	0,065	0,07	0,0191	—	—	—	—	—	—	—	—	0,120	0,033	0,120	0,0279
0,06	0,078	0,02754	0,075	0,08	0,0271	—	—	—	—	—	—	—	—	0,130	0,042	0,130	0,0368
0,07	0,088	0,03688	0,085	0,09	0,0364	—	—	—	—	—	—	—	—	0,140	0,053	0,140	0,0470
0,08	0,098	0,04772	0,095	0,10	0,0472	—	—	—	—	—	—	—	—	0,150	0,065	0,150	0,0587
0,09	0,108	0,05986	0,105	0,11	0,0592	—	—	—	—	—	—	—	—	0,160	0,079	0,160	0,0718
0,10	0,122	0,07440	0,115	0,12	0,0728	—	—	—	—	—	—	—	—	0,175	0,093	0,175	0,0878
0,11	0,132	0,08952	0,125	0,13	0,0878	—	—	—	—	—	—	—	—	0,185	0,110	0,185	0,1039
0,12	0,142	0,10593	0,135	0,14	0,1041	—	—	—	—	—	—	—	—	0,195	0,127	0,195	0,1211
0,13	0,152	0,12374	0,145	0,15	0,1218	—	—	—	—	—	—	—	—	0,205	0,147	0,205	0,1401
0,14	0,162	0,14306	0,155	0,16	0,1409	—	—	—	—	—	—	—	—	0,215	0,167	0,215	0,1602
0,15	0,175	0,16465	0,17	0,175	0,1623	—	—	—	—	—	—	—	—	0,225	0,189	0,225	0,1812
0,16	0,185	0,18683	0,18	0,185	0,1851	—	—	—	—	—	—	—	—	0,235	0,212	0,235	0,2042
0,17	0,195	0,21040	0,19	0,195	0,2085	—	—	—	—	—	—	—	—	0,245	0,237	0,245	0,2293
0,18	0,205	0,23537	0,20	0,205	0,2334	—	—	—	—	—	—	—	—	0,255	0,263	0,255	0,2543
0,19	0,215	0,26154	0,215	0,22	0,2615	—	—	—	—	—	—	—	—	0,265	0,290	0,265	0,2814
0,20	0,23	0,2914	0,225	0,23	0,2892	0,30	0,324	0,39	0,385	0,320	0,335	—	—	0,290	0,322	0,290	0,3178
0,21	0,24	0,3206	0,235	0,24	0,3183	0,31	0,355	0,40	0,417	0,330	0,367	—	—	0,300	0,352	0,300	0,3480
0,23	0,26	0,3833	0,255	0,26	0,3807	0,33	0,421	0,42	0,485	0,350	0,432	—	—	0,320	0,417	0,320	0,4125
0,25	0,28	0,4514	0,275	0,28	0,4487	0,35	0,492	0,44	0,560	0,370	0,504	—	—	0,340	0,488	0,340	0,4829
0,27	0,315	0,5338	0,30	0,305	0,525	0,39	0,581	0,49	0,667	0,415	0,599	—	—	0,370	0,569	0 370	0,5651
0,29	0,335	0,6137	0,32	0,325	0,6043	0,41	0,663	0,51	0,753	0,435	0,682	—	—	0,390	0,651	0,390	0,6466
0,31	0,36	0,7026	0,34	0,345	0,6893	0,43	0,751	0,53	0,845	0,460	0,774	—	—	0,415	0,742	0,415	0,7379
0,33	0,38	0,7938	0,36	0,365	0,7798	0,45	0,845	0,55	0,942	0,480	0,871	—	—	0,435	0,836	0,435	0,8315
0,35	0,40	0,8906	0,385	0,39	0,8793	0,47	0,944	0,57	1,05	0,500	0,971	—	—	0,455	0,935	0,455	0,9301
0,38	0,43	1,0464	0,415	0,42	1,0342	0,5	1,11	0,60	1,21	0,530	1,130	—	—	0,485	1,090	0,485	1,0880
0,41	0,465	1,2190	0,445	0,45	1,2017	0,53	1,27	0,63	1,39	0,565	1,310	—	—	0,520	1,270	0,520	1,2630
0,44	0,495	1,4001	0,475	0,48	1,3819	0,56	1,46	0,66	1,58	0,595	1,500	—	—	0,550	1,450	0,550	1,4460
0,47	0,525	1,5938	0,505	0,51	1,5742	0,59	1,66	0,69	1,78	0,625	1,690	—	—	0,580	1,650	0,580	1,6400
0,49	0,545	1,7300	0,525	0,53	1,7096	0,61	1,80	0,71	1,93	0,645	1,840	—	—	0,600	1,790	0,600	1,7830
0,51	0,57	1,8770	0,55	0,555	1,8556	0,63	1,94	0,73	2,08	0,670	1,990	—	—	0,625	1,940	0,625	1,9360
0,53	0,59	2,0246	0,57	0,575	2,0025	0,65	2,09	0,75	2,23	0,690	2,140	—	—	0,645	2,090	0,645	2,0790
0,55	0,61	2,1777	0,59	0,595	2,1548	0,67	2,24	0,77	2,38	0,710	2,300	—	—	0,665	2,250	0,665	2,2410
0,57	0,63	2,3364	0,61	0,615	2,3128	0,69	2,41	0,79	2,55	0,730	2,460	—	—	0,685	2,400	0,685	2,3940
0,59	0,65	2,5006	0,635	0,64	2,4820	0,71	2,57	0,81	2,72	0,750	2,630	—	—	0,705	2,570	0,715	2,5660
0,62	0,68	2,7575	0,665	0,67	2,7391	0,74	2,83	0,84	2,98	0,780	2,890	—	—	0,735	2,830	0,735	2,8200
0,64	0,70	2,9357	0,685	0,69	2,9157	0,76	3,01	0,86	3,17	0,800	3,070	—	—	0,755	3,010	0,755	3,0030
0,67	0,73	3,2134	0,715	0,72	3,1926	0,79	3,29	0,89	3,45	0,830	3,190	—	—	0,785	3,300	0,785	3,2870
0,69	0,75	3,4056	0,735	0,74	3,3842	0,81	3,48	0,91	3,65	0,850	3,550	—	—	0,805	3,490	0,805	3,4790
0,72	0,79	3,7014	0,765	0,77	3,6643	0,84	3,77	0,94	3,94	0,890	3,850	1,00	4,040	0,845	3,780	0,845	3,7750
0,74	0,81	3,9256	0,79	0,80	3,8949	0,86	3,99	0,96	4,17	0,910	4,080	1,020	4,272	0,865	4,020	0,865	4,0070
0,77	0,84	4,2459	0,82	0,83	4,2142	0,89	4,32	0,99	4,51	0,940	4,410	1,050	4,602	0,895	4,340	0,895	4,3310
0,80	0,87	4,5787	0,85	0,86	4,5458	0,92	4,64	1,02	4,85	0,970	4,750	1,080	4,947	0,925	4,680	0,925	4,6650

Продолжение табл. 8-7

Диаметр меди, мм	ПЭЛУ		ПЭВ-1	ПЭВ-2	ПЭВ-1	ПБО		ПБД		ПЭЛБО		ПЭЛБД		ПЭЛШО		ПЭЛШКО	
	Диаметр провода, мм	Вес, кг/км	Диаметр провода, мм		Вес, кг/км	Диаметр провода, мм	Вес, кг/км	Диаметр провода, мм	Вес, кг/км	Диаметр провода, мм	Вес, кг/км	Диаметр провода, мм	Вес, кг/км	Диаметр провода, мм	Вес, кг/км	Диаметр провода, мм	Вес, кг/км
0,83	0,90	4,9240	0,89	0,89	4,8900	0,95	5,00	1,05	5,20	1,000	5,090	1,110	5,304	0,955	5,020	0,955	5,0090
0,86	0,93	5,2823	0,91	0,92	5,2468	0,98	5,36	1,08	5,56	1,030	5,460	1,140	5,673	0,985	5,380	0,985	5,3730
0,90	0,97	5,7789	0,95	0,96	5,7421	1,02	5,87	1,12	6,08	1,070	5,960	1,180	6,185	1,025	5,880	1,025	5,8679
0,93	1,00	6,1662	0,98	0,99	6,1282	1,05	6,26	1,15	6,47	1,100	6,360	1,210	6,583	1,055	6,270	1,055	6,2620
0,96	1,03	6,5661	1,01	1,02	6,5268	1,08	6,65	1,18	6,87	1,130	6,760	1,240	6,995	1,085	6,680	1,085	6,6660
1,00	1,08	7,1389	1,06	1,07	7,0972	1,14	7,25	1,27	7,51	1,200	7,390	1,320	7,658	1,135	7,270	1,135	7,2520
1,04	1,13	7,7361	1,10	1,11	7,6721	1,18	7,83	1,31	8,10	1,240	7,970	1,360	8,250	1,175	7,830	1,175	7,8170
1,08	1,17	8,3348	1,14	1,15	8,2693	1,22	8,43	1,35	8,71	1,290	8,580	1,400	8,865	1,215	8,440	1,215	8,4230
1,12	1,21	8,9559	1,18	1,19	8,8874	1,26	9,06	1,39	9,35	1,320	9,210	1,440	9,503	1,255	9,060	1,255	9,0480
1,16	1,25	9,5993	1,22	1,23	9,5280	1,30	9,71	1,43	10,00	1,360	9,860	1,480	10,164	1,295	9,710	1,295	9,6930
1,20	1,29	10,2657	—	—	—	1,34	10,40	1,47	10,70	1,400	10,500	1,520	10,847	1,335	10,400	1,335	10,3680
1,25	1,34	11,1293	—	—	—	1,39	11,20	1,52	11,50	1,450	11,500	1,570	11,731	1,385	11,300	1,385	11,2750
1,30	1,39	12,0278	—	—	—	1,44	12,20	1,57	12,50	1,500	12,400	1,620	12,649	1,435	12,200	1,435	12,1810
1,35	1,44	12,9616	—	—	—	1,49	13,10	1,62	13,40	1,550	13,300	1,670	13,604	1,485	13,100	1,485	13,0880
1,40	1,49	13,9303	—	—	—	1,54	14,10	1,67	14,40	1,605	14,300	1,725	14,609	1,535	14,000	1,535	13,9940
1,45	1,54	14,9335	—	—	—	1,59	15,10	1,72	15,40	1,655	15,300	1,775	15,634	1,585	15,000	1,585	15,000
1,50	1,59	15,9715	—	—	—	1,64	16,1	1,77	16,50	1,705	16,300	1,825	16,694	1,655	16,200	1,655	16,150
1,56	1,65	17,2636	—	—	—	1,70	17,40	1,83	17,80	1,765	17,600	1,885	18,011	1,715	17,500	1,715	17,460
1,62	1,72	18,6387	—	—	—	1,76	18,70	1,89	19,10	1,825	18,900	1,945	19,378	1,775	18,800	1,775	18,7690
1,68	1,78	20,0324	—	—	—	1,82	20,10	1,95	20,50	1,885	20,400	2,005	20,797	1,835	20,200	1,835	20,1780
1,74	1,84	21,4676	—	—	—	1,88	21,60	2,01	22,00	1,945	21,900	2,065	22,256	1,895	21,700	1,895	21,6880
1,81	1,91	23,2204	—	—	—	1,95	23,40	2,08	23,80	2,015	23,600	2,135	24,041	1,965	23,400	1,965	23,3980
1,88	1,98	25,0413	—	—	—	2,02	25,20	2,15	25,60	2,085	25,400	2,205	25,886	2,035	25,200	2,035	25,2090
1,95	2,05	26,9178	—	—	—	2,09	27,00	2,22	27,50	2,155	27,300	2,275	27,791	2,105	27,100	2,105	27,1200
2,02	2,13	28,9198	—	—	—	2,16	29,00	2,29	29,50	2,230	29,400	2,350	29,773	2,175	29,100	2,175	29,030
2,10	2,21	31,2379	—	—	—	2,24	31,40	2,37	31,80	2,310	31,700	2,430	32,122	2,255	31,400	2,255	31,344
2,26	2,37	36,1419	—	—	—	—	—	2,59	37,00	—	—	—	—	—	—	—	—
2,44	2,55	42,0858	—	—	—	—	—	2,77	43,00	—	—	—	—	—	—	—	—
2,63	—	—	—	—	—	—	—	2,96	49,80	—	—	—	—	—	—	—	—
2,83	—	—	—	—	—	—	—	3,16	57,50	—	—	—	—	—	—	—	—
3,05	—	—	—	—	—	—	—	3,38	66,70	—	—	—	—	—	—	—	—
3,28	—	—	—	—	—	—	—	3,61	76,90	—	—	—	—	—	—	—	—
3,53	—	—	—	—	—	—	—	3,86	88,90	—	—	—	—	—	—	—	—
3,80	—	—	—	—	—	—	—	4,13	103,00	—	—	—	—	—	—	—	—
4,10	—	—	—	—	—	—	—	4,43	119,00	—	—	—	—	—	—	—	—
4,50	—	—	—	—	—	—	—	4,83	143,00	—	—	—	—	—	—	—	—
4,80	—	—	—	—	—	—	—	5,13	164,00	—	—	—	—	—	—	—	—
5,20	—	—	—	—	—	—	—	5,53	192,00	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 8-8

Размеры алюминиевых эмалированных проводов

Диаметр провода по алюминию, *мм*	Наружный диаметр провода, *мм*	Диаметр провода по алюминию, *мм*	Наружный диаметр провода, *мм*
0,085	0,11	0,23	0,255
0,09	0,115	0,25	0,275
0,10	0,125	0,27	0,305
0,11	0,135	0,29	0,325
0,12	0,145	0,31	0,35
0,13	0,155	0,38	0,42
0,14	0,165	0,41	0,45
0,15	0,175	0,44	0,49
0,16	0,185	0,47	0,52
0,18	0,205	0,51	0,56
0,20	0,225	0,55	0,6

Таблица 8-9

Обмоточные провода из сплавов высокого сопротивления

Диаметр провода без изоляции, *мм*	Марка													
	ПЭК		ПЭШОК		ПЭБОК		ПШДК		ПЭММ, ПЭМТ		ПЭШОММ		ПШДММ, ПШДМТ	
	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*	Диаметр провода, *мм*	Вес, *кг/км*
0,03	0,042	0,007	—	—	—	—	—	—	0,042	0,007	—	—	—	—
0,04	0,052	0,012	—	—	—	—	—	—	0,052	0,012	—	—	—	—
0,05	0,062	0,018	0,12	0,032	—	—	0,166	0,051	0,062	0,018	0,12	0,032	0,166	0,049
0,06	0,072	0,026	0,13	0,043	—	—	0,176	0,062	0,072	0,025	0,13	0,042	0,176	0,060
0,07	0,082	0,036	0,14	0,053	—	—	0,186	0,074	0,082	0,034	0,14	0,051	0,186	0,072
0,08	0,092	0,047	0,15	0,066	—	—	0,196	0,088	0,092	0,044	0,15	0,063	0,196	0,085
0,09	0,102	0,058	0,16	0,079	—	—	0,206	0,103	0,102	0,056	0,16	0,076	0,206	0,099
0,10	0,115	0,073	0,175	0,096	—	—	0,22	0,119	0,115	0,069	0,175	0,092	0,22	0,115
0,12	0,135	0,105	0,195	0,128	—	—	0,24	0,152	0,135	0,099	0,195	0,122	0,24	0,146
0,15	0,168	0,162	0,228	0,190	—	—	0,27	0,216	0,168	0,154	0,228	0,182	0,270	0,208
0,18	0,198	0,233	0,258	0,265	—	—	0,30	0,295	0,198	0,220	0,258	0,252	0,30	0,282
0,20	0,22	0,288	0,290	0,323	—	—	0,34	0,354	0,22	0,273	0,290	0,308	0,34	0,359
0,25	0,27	0,447	0,340	0,489	—	—	0,39	0,525	0,27	0,423	0,340	0,465	0,39	0,501
0,30	0,33	0,647	0,405	0,699	—	—	0,45	0,735	0,33	0,613	0,405	0,665	0,45	0,701
0,35	0,38	0,88	0,455	0,936	—	—	0,50	0,976	0,38	0,83	0,455	0,89	0,50	0,930
0,38	0,41	1,03	0,485	1,10	—	—	0,53	1,14	0,41	0,98	0,485	1,04	0,53	1,08
0,40	0,43	1,14	0,505	1,21	0,55	1,25	0,55	1,25	0,43	1,08	0,505	1,15	0,55	1,19
0,45	0,485	1,45	0,56	1,53	0,61	1,57	0,60	1,57	0,485	1,37	0,560	1,45	0,60	1,49
0,50	0,535	1,78	0,61	1,87	0,66	1,91	0,65	1,91	0,535	1,68	0,610	1,77	0,65	1,81
0,55	0,59	2,15	0,665	2,24	0,71	2,29	0,70	2,29	0,59	2,04	0,665	2,13	0,70	2,18
0,60	0,64	2,57	0,715	2,66	0,76	2,72	0,75	2,71	0,64	2,43	0,715	2,79	0,75	2,57
0,65	0,69	3,0	0,765	3,10	0,81	3,16	0,80	3,16	0,69	2,84	0,765	2,94	0,80	3,00
0,70	0,75	3,5	0,825	3,61	0,87	3,67	0,85	3,65	0,75	3,21	0,825	3,42	0,85	3,46
0,75	0,80	4,0	0,875	4,12	0,92	4,19	0,90	4,16	0,80	3,79	0,875	3,91	0,90	3,95
0,80	0,85	4,55	0,925	4,67	0,97	4,75	0,95	4,72	0,85	4,31	0,925	4,43	0,95	4,48
0,85	0,90	5,13	0,975	5,26	1,02	5,34	1,00	5,31	0,90	4,86	0,975	4,99	1,00	5,04
0,90	0,95	5,75	1,025	5,89	1,07	5,97	1,05	5,94	0,95	5,45	1,025	5,59	1,05	5,64
1	1,06	7,11	1,06	7,26	1,18	7,35	1,15	7,29	1,06	6,73	1,135	6,88	1,15	6,91

8-3. ПРОВОДА И ШНУРЫ МОНТАЖНЫЕ И УСТАНОВОЧНЫЕ

Таблица 8-10

Провода монтажные для внутреннего монтажа в реле, высокочастотной аппаратуре, измерительных приборах и аппаратуре связи

Марка провода	Конструкция провода	ВТУ, ГОСТ	Назначение	$U_{раб}$, в	$t_{раб}$, °С	s, мм²
ПМВ	Медный однопроволочный, изолирован полихлорвиниловым пластикатом	ТУК ОММ 505. 139-55	Жесткий монтаж при повышенной влажности	—380 переменного, 500 постоянного тока	—60÷+50	0,2; 0,35; 0,5; 0,75
ПМВГ	Провод многопроволочный, изолирован хлопчатобумажной пряжей или стекловолокном и полихлорвиниловым пластикатом					
ПМОВ	То же однопроволочный					
МГВ	Многопроволочный, изолирован полихлорвиниловым пластикатом	ВТУ МЭП 680-47	Жесткий монтаж	—380 переменного, 500 постоянного тока	—50÷+70	0,1; 0,2; 0,35; 0,5; 0,75; 1 2, 3, 5
МГВЛ	Многопроволочный, изолирован полихлорвиниловым пластикатом, в оплетке из лакированной пряжи		Монтаж с возможностью перемещения			
МГВЛЭ	То же, экранированный		Монтаж с защитой от электрических помех			
МГВСЛ	Многопроволочный, изолирован полихлорвиниловым пластикатом, в оплетке из лакированного стекловолокна		Монтаж при высокой температуре			
МГВСЛЭ	То же экранированный		Монтаж с защитой от электрических помех			
МР	Однопроволочный с резиновой изоляцией	ВТУ МЭП 138-45	Жесткий монтаж с повышенной влажностью (Л) с защитой от электрических помех (Э)	380 переменного, 500 постоянного тока	—40÷+65	0,35; 0,5; 0,75; 1,0; 2,5
МРЛ	То же в оплетке из лакированной хлопчатобумажной пряжи					
МРП	То же, оплетка пропитана парафином					
МРГ	Многопроволочный с резиновой изоляцией					
МРГЛ	Многопроволочный с резиновой изоляцией в лакированной оплетке из хлопчатобумажной пряжи					
МРГП	То же, оплетка пропитана парафином					
МРГПЭ	То же экранированный					
МГБД	Многопроволочный в двойной хлопчатобумажной обмотке	ВТУ-МЭП 690-48	Жесткий монтаж	60 переменного тока	—50÷+60	0,05; 0,07; 0,1; 0,2; 0,35; 0,5
МГБОО	Многопроволочный в хлопчатобумажной обмотке и оплетке	ВТУ МЭП 119-44				
МГШД	Многопроволочный в двойной шелковой обмотке					
МГШДО	Многопроволочный в двойной обмотке и оплетке из шелка	ВТУ НКЭП 119-44				
МГШ	Многопроволочный в шелковой оплетке	ВТУ МЭП 690-47		20 переменного тока	—60÷+70	0,05; 0,07; 0,1

Таблица 8-11

Провода и шнуры установочные с резиновой и пластмассовой изоляцией

Марка	Основная область применения	Способ прокладки	s, *мм*²	$U_{раб.}$, *в*	Конструкция	ГОСТ или ТУ
ПР-500 АПР-500	Осветительные и силовые сети внутри помещений и вне зданий, в пожароопасных помещениях, во вторичных цепях	В изоляционных трубках, на роликах, изоляторах, клицах, по бетоиу и металлу с подкладкой дополнительной изоляции	ПР: 0,75—400 АПР: 2,5—400	500 переменного, 1 000 постоянного тока	Медная или алюминиевая жила с резиновой изоляцией РТИ-2, оплетка из хлопчатобумажной пряжи, пропитанная противогнилостным составом	ГОСТ 1977-59 ГОСТ 5352-52
ПРЛ ПРГЛ	Вторичные цепи, релейные щиты, пульты, распределительные шкафы	Открыто по панелям, скрыто в коробах	ПРЛ: 0,75—6 ПРГЛ: 0,75—70	500 переменного, 1 000 постоянного тока	Медная жила с резиновой изоляцией РТИ-2, оплетка из хлопчатобумажной пряжи, покрытая кабельным лаком	ГОСТ 1977-54
ПВ, АПВ	Осветительные и силовые сети внутри помещений сухих, сырых, особо сырых, с парами кислот и щелочей при температуре не выше +40° С, осветительные щиты, пусковые ящики, вторичные цепи	В трубах, на роликах, изоляторах и клицах, по бетову и металлу с подкладкой дополнительной изоляции	0,75—95	500 переменного, 1 000 постоянного тока	Медная или алюминиевая жила в изоляции из кабельного изоляционного полихлорвинилового пластиката	ГОСТ 6323-52
ПРД	Осветительные сети внутри помещений сухих и отапливаемых.	На роликах	0,5—6	220 переменного тока	Медная жила в резиновой изоляции РТИ-3 в оплетке. Две жилы скручены между собой	ГОСТ 1977-54
ПРШП	Осветительные, силовые и вторичные цепи кранов, экскаваторов и прочих механизмов при наличии механических воздействий и отсутствии масел и эмульсий	Открыто с креплением скобками	1—95	500 переменного, 1 000 постоянного тока	Медная жила в резиновой изоляции РТИ-2, в шланговой оболочке из резины РШ или РШН, в обмотке из прорезиненной ткаии и оплетке из стальной оцинкованной проволоки 0,3 *мм*	ГОСТ 1843-46
ШР	Присоединение подвижных токоприемников в сухих помещениях	Открыто	0,5—1,5	220	Медная жила в резиновой изоляции РТИ-3 и хлопчатобумажной оплетке. Две жилы скручены между собой	ГОСТ 1977-54
ШВРО	Присоединение паяльников	Открыто	0,5—1,0	—	Две медные жилы в резиновой изоляции РТИ-3 скручены с заполнением в оплетке из пряжи, нитки, шелка	ГОСТ 7399-55
ШРРШ ШВПЛ	Присоединение холодильников, пылесосов, плиток	Открыто	0,75—1,0	—	Две медные жилы с резиновой изоляцией РТИ-3 скручены с заполнением в шланговой оболочке из резины РШ	ГОСТ 1399-55
ШВПЛ		—	0,75	—	Медные жилы в общей полихлорвиниловой изоляции	ТУК ОММ 505. 092-55
ШПО	Присоединение громкоговорителей	Открыто	0.35	—	Двойная обмотка из пряжи или одиночная с резиновой изоляцией РТИ-3 в общей оплетке из пряжи, нитки, шелка	ГОСТ 7399-55

8-4. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СТАЛИ

Таблица 8-12

Свойства электротехнических сталей по ГОСТ 802-54

Марка стали по ГОСТ 802-54	Толщина, *мм*	Магнитная индукция, *гс*, при напряженности поля, *а/см* (не менее)					Удельные потери, *вт/кг* (не более)		
		B_{10}	B_{25}	B_{50}	B_{100}	B_{800}	$P_{10/50}$	$P_{15/50}$	$P_{17/50}$
Э11	1	—	15 000	16 200	17 500	19 700	5,80	13,4	—
Э11	0,5	—	15 000	16 200	17 500	19 700	3,30	7,90	—
Э12	0,5	—	14 900	16 100	17 400	19 600	2,80	6,80	—
Э21	0,5	—	14 800	15 900	17 300	19 400	2,50	6,10	—
Э31	0,5	—	14 600	15 700	17 000	19 000	2,00	4,50	—
Э31	0,5	—	14 600	15 700	17 000	19 000	1,60	3,60	—
Э41	0,5	13 000	14 500	15 600	16 800	18 800	1,60	3,60	—
Э42	0,5	12 900	14 400	15 500	16 700	18 700	1,40	3,20	—
Э43	0,5	12 800	14 300	15 400	16 600	18 700	1,25	2,90	—
Э41	0,35	13 000	14 500	15 600	16 800	18 800	1,35	3,20	—
Э42	0,35	12 900	14 400	15 500	16 700	18 700	1,20	2,80	—
Э43	0,35	12 800	14 300	15 400	16 600	18 700	1,05	2,50	—
Э310	0,5	15 700	17 000	18 000	19 000	19 800	1,25	2,80	—
Э320	0,5	16 500	18 000	18 700	19 200	20 000	1,15	2,50	3,80
Э330	0,5	17 000	18 500	19 000	19 500	20 000	1,05	2,30	3,20
Э310	0,35	15 700	17 000	18 000	19 000	19 800	1,00	2,20	3,20
Э320	0,35	16 500	18 000	18 700	19 200	20 000	0,90	1,90	2,90
Э330	0,35	17 000	18 500	19 000	19 500	20 000	0,80	1,70	2,60

Старые и новые обозначения сталей

Старое обозначение	Э1, Э1А	Э1АА, Э1АБ, Э1ААБ	Э2, Э2Б, Ст. 1	Э3, Э3А, Ст. 2	Э4, Э4А	Э4АА	ВП-1, ВП-2	ВП-3	Вч-1, Вч-2,	ХВП	ХТ-18	ХТ-18,5
Новое обозначение по ГОСТ 802-58	Э11	Э12	Э21	Э31	Э41	Э42	Э45 Э47	Э46 Э48	Э44	Э310	Э320	Э330

Таблица 8-13

Свойства электротехнических сталей по ГОСТ 802-54

Марка стали	Толщина, *мм*	Магнитная индукция, *гс*, при напряженности поля, *а/см* (не менее)			Удельные потери, *вт/кг* (не более)		Удельное электрическое сопротивление, *ом·мм²/м* (не менее)
		B_5	B_{10}	B_{25}	$P_{7,5/400}$	$P_{10/400}$	
Э34	0,35	11 800	13 000	14 500	13,0	23,0	0,50
Э340	0,35	14 600	15 700	17 000	12,0	21,0	0,47
Э340	0,20	14 000	15 500	16 700	7,0	12,0	0,47
Э44	0,35	11 800	12 900	14 300	10,7	19,0	0,57
Э44	0,20	11 800	12 800	14 200	7,20	12,5	0,57
Э44	0,15	11 600	12 800	14 100	6,80	11,7	0,57
Э44	0,10	11 500	12 700	14 000	6,00	10,5	0,57

Таблица 8-14

Свойства электротехнических сталей по ГОСТ 802-54

Марка стали	Толщина, *мм*	Магнитная индукция, *гс*, при напряженности поля, *а/см* (не менее)							Удельное электрическое сопротивление, *ом·мм²/м* (не менее)
		$B_{0,1}$	$B_{0,2}$	$B_{0,5}$	$B_{0,7}$	B_1	B_5	B_{10}	
Э370	0,35	1 400	5 000	9 000	10 400	11 600	16 000	17 000	0,47
Э47	0,35	300	1 000	3 800	5 300	6 600	11 800	12 900	0,55
Э48	0,35	400	1 400	4 800	6 200	7 400	12 000	12 900	0,55
Э370	0,2	800	2 000	6 500	7 500	8 000	13 500	16 000	0,47
Э47	0,2	250	800	3 800	5 300	6 600	11 700	12 800	0,55
Э48	0,2	350	1 200	4 700	6 000	7 300	11 900	12 800	0,55
Э47	0,15	230	650	3 500	5 100	6 400	11 700	12 800	0,55
Э48	0,15	280	850	4 500	5 800	7 000	11 800	12 800	0,55
Э47	0,1	230	650	3 500	5 100	6 400	11 700	12 700	0,55
Э48	0,1	280	850	4 500	5 800	7 000	11 800	12 700	0,55

Таблица 8-15

Свойства электротехнических сталей по ГОСТ 802-54

Марка стали	Толщина, *мм*	Магнитная индукция, *гс*, при напряженности поля, *а/см* (не менее)			Удельное электрическое сопротивление, *ом·мм²/м* (не менее)
		$B_{0,002}$	$B_{0,004}$	$B_{0,008}$	
Э45	0,35	1,20	2,60	7,7	0,55
Э46	0,35	1,50	3,30	8,8	0,55
Э45	0,20	1,30	2,80	7,0	0,55
Э46	0,20	1,60	3,50	8,8	0,55
Э45	0,15	1,30	2,80	7,0	0,55
Э46	0,15	1,60	3,50	8,8	0,55
Э45	0,10	1,30	2,80	6,0	0,55
Э46	0,10	1,70	3,50	8,0	0,55

Примечание к табл. 8-12—8-15: 1. Удельные потери $P_{10/50}$, $P_{15/50}$ и $P_{17/50}$ — полные удельные потери при максимальных значениях индукции 10 000, 15 000, 17 000 *гс* и частоте 50 *гц*.

2. $P_{7,5/400}$ и $P_{10/400}$ — полные удельные потери при максимальных значениях индукции 7 500 и 10 000 *гс* и частоте 400 *гц*.

3. Магнитная индукция B_5, B_{10}, B_{25}, $B_{0,1}$, $B_{0,2}$, $B_{0,5}$, $B_{0,7}$, B_1, $B_{0,002}$, B_{50}, B_{100}, B_{300}, $B_{0,004}$, $B_{0,008}$ есть магнитная индукция в гауссах на основной кривой намагничивания при напряженности магнитного поля (*а/см*), равной соответствующей цифре при букве *B* (5, 10 и т. д.).

4. Обозначения марок стали: буква Э — электротехническая сталь, первые цифры после буквы обозначают степень легирования стали кремнием: 1 — слаболегированная сталь; 2 — среднелегированная сталь; 3 — повышеннолегированная сталь; 4 — высоколегированная сталь.

Таблица 8-16

Магнитные характеристики железоникелевых сплавов типа пермаллой

Наименование сплава	Химический состав, %								Начальная магнитная проницаемость μ_0	Максимальная магнитная проницаемость $\mu_{макс}$	Коэрцитивная сила H_c, э	Индукция насыщения B_S, гс	Удельное электрическое сопротивление, ом·мм²/м
	Ni	Fe	Mo	Mn	Cr	Cu	Si	Al					
„Классический" пермаллой	78,5	22,5	—	—	—	—	—	—	10 000—12 000	12 000—90 000	0,025	10 700	0,16
Н79М5	На основе Mo-пермаллоя					—	—	—	40 000	600 000	0,01	8 500	0,58
80ХС	—	—	—	—	—	—	—	—	35 000	120 000	0,015	5 800	0,62
Н50П текстурованный	50	50	—	—	—	—	—	—	2 000	50 000	0,2	15 000	0,50
Н65П обработанный в магнитном поле	65	35	—	—	—	—	—	—	10 000	100 000	0,1	13 000	—
50Н	50	50	—	—	—	—	—	—	2 000	20 000	—	16 000	0,45
Mo-пермаллой	78,5	17,7	3,8	—	—	—	—	—	20 000	75 000	0,03	8 500	0,55
Улучшенный Mo-пермаллой (суперпермаллой)	79	15,5	5	0,5	—	—	—	—	50 000—150 000	600 000—1 200 000	0,004	8 000	0,65
Cr-пермаллой	78,5	17,7	—	—	3,8	—	—	—	12 000	60 000	0,03	8 000	0,65
Мегаперм 6510	65	25	—	10	—	—	—	—	4 800	26 000	0,09	8 500	0,58
Муметалл	76	15,2	2	0,8	—	6	—	—	10 000	60 000	0,04	8 500	0,42
Cu-пермаллой	72	11	3	—	—	14	—	—	50 000	100 000	0,08	6 000	0,58
Рометалл	40	до 50	—	—	до 5	—	до 5	—	850	5 000	—	4 500	—
45%-ный пермаллой	45	55	—	—	—	—	—	—	2 700	23 000	0,08	16 000	0,45
Перменорм 4801	48	51	—	1	—	—	—	—	2 700	19 000	0,1	14 000	0,58
Гиперник	50	50	—	—	—	—	—	—	4 500	100 000	0,075	16 000	0,45
Текстурованный 50%-ный пермаллой	50	50	—	—	—	—	—	—	5 000	200 000	0,051	15 600	0,55
Альсифер	84,9	—	—	—	—	—	9,5	5,6	6 000	30 000—80 000	0,1	12 000	0,8

8-5. ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица 8-17

Основные проводниковые материалы

Материал	Удельный вес, $г/см^3$	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, $кГ/мм^2$	Удельная проводимость при 15° С, $ом/см^2$	Удельное сопротивление при 20° С, $ом \cdot мм^2/м$	Температурный коэффициент сопротивления, 1/°С
Алюминий	2,7	659	14—22	34	0,029	0,004
Бронза	8,8—8,9	900	50—60	43—24	0,021—0,04	0,004
Латунь	8,4—8,7	960	40	20	0,05	0,002
Медь	8,9	1 083	25—40	57	0,0157	0,004
Никелин	11,2	1 060	—	2,5	0,4—0,44	0,0003
Олово	7,3	232	3—5	8,3	0,12	0,0044
Ртуть	13,6	—38,9	—	1,063	0,95	0,00027
Серебро	10,5	961	28—30	62,5	0,016	0,004
Сталь	7,85	1 400—1 500	45—150	10—5	0,13—0,3	0,005
Свинец	11,3	327	1,2—2,3	5	0,217	0,0041
Цинк	7,1	419	15—20	16	0,06	0,0039
Чугун	7,2	1 200	12—40	2	0,5	0,0009

Сплавы высокого сопротивления

Таблица 8-18

Наименование	Удельный вес, $г/см^3$	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении при 20° С, $кГ/мм$	Удельное электрическое сопротивление при 20° С, $ом \cdot мм^2/м$	Температурный коэффициент сопротивления при 20° С, 1/°С	Теплопроводность, $вт/см \cdot °С$	Средняя теплоемкость, $кал/г \cdot °С$	Коэффициент линейного расширения, 1/°С	Термо-э. д. с. с медью, $мкв/°С$	Наибольшая рабочая температура, °С	Область применения
Константан	8,8	1 200—1 270	40—60	0,4—0,51	0,00005	0,225	0,098	0,0000152	39—43	350—450	Реостаты и сопротивлении приборов низкого класса точности. Термопары с медью и сталью
Манганин	8,14	910—960	40—55	0,42	0,000015	0,42	0,043	0,000023	0,9—1	300	Эталонные сопротивления и сопротивлении приборов высокого класса точности
Нихром (Х15Н60)	8,1	1 380—1 410	—	1,0—1,15	0,0003	11—12	0,11	0,000013	—	1 000	Промышленные электропечи, лабораторные и бытовые нагревательные приборы
Нихром (Х20Н80)	8,4	1 390—1 420	—	1,1—1,2	0,0003	12—13	0,11	0,000014	—	1 150	Проволока и лента различных сечений
Сплав № 1	6,8—7,1	1 450—1 500	60—70	1,2—1,3	0,0005	—	—	0,000015	—	1 150	—
Сплав № 2	7—7,2	1 450—1 500	65—80	1,3—1,6	0,0005	—	—	0,000015	—	1 250	—
ЭИ 437 (Х20Н80Т)	8,4	1 380—1 410	—	1,05—1,15	0,00036	—	—	—	—	1 100	—
Фехраль	7,6	1 450	70	1,2	0,0002	—	—	—	—	800	—

8-6. ПРИПОИ И ФЛЮСЫ ДЛЯ ПАЙКИ

Таблица 8-19

Твердые припои

Марка и наименование припоя	Состав, % (по весу)				Температура плавления, °С	ГОСТ	Назначение
	Медь	Цинк	Серебро	Примеси			
Медноцинковый ПМЦ-36	36±2	63±2	—	0,6	800—825	1534-42	Пайка меди и латуни с содержанием меди до 68%
Медноцинковый ПМЦ-48	48±2	51±2	—	0,6	825—850		Пайка медных сплавов с содержанием меди свыше 68%
Медноцинковый ПМЦ-54	54±2	45±2	—	0,6	850—875		Пайка меди, бронзы, стали
Серебряный ПСр-70	26	4	70	0,5	750	8190-56	Пайка медных проводов в особо ответственных контактах
Серебряный ПСр-45	30	25	45	—	720		Пайка меди, латуни, бронзы

Таблица 8-20

Мягкие припои

Марка, наименование	Состав, % (по весу)				Удельный вес, г/см³	Температура плавления, °С		ГОСТ	Назначение
	Олово	Свинец	Сурьма	Примеси		Начало	Конец		
Оловянистый О-1	99,9	—	—	0,1	7,2	232	240	860-41	Пайка особо ответственных контактов при большой силе тока
То же О-2	99,8	—	—	0,2	7,2	232	240		
Оловяносвинцовый ПОС-90	89—90	9,65—10,65	0,1—0,15	0,23	7,6	183	222	1499-54	Пайка выводов обмоток машин и приборов
То же ПОС-40	39—40	58—59	1,5—2	0,25	9,3	183	235		Пайка при большой силе тока, полуда
То же ПОС-30	29—30	67,5—68,5	1,5—2	0,3	9,8	183	245		Пайка меди, латуни, цинка, стали, полуда, пайка при малых плотностях тока
То же ПОС-18	17—18	79—81,5	2—2,5	0,3	10,2	183	277		То же
Оловяносвинцовосурьмяиистый ПОС С—4-6	3—4	90	5,6	0,3	10,7	245	265		Пайка латуни, жести, стали, свинца
Свинцовый С-1	—	99,99	—	0,01	11,3	327	327	3778-56	Пайка свинцовых деталей
То же С-2	—	99,96	—	0,04	11,3	327	327		То же

Таблица 8-21

Алюминиевые припои

Наименование	Состав, % (по весу)					Назначение
	Цинк	Олово	Алюминий	Кадмий	Медь	
АВИА-1	25	55	—	20	—	Пайка алюминиевых шин и проводов
АВИА-2	24	40	16	20	—	
АВИА-3	33	63	1	—	—	
ЦА-15 (435° С)	85	—	15	—	—	
Припой ВЭИ ЦО-43 (500° С)	43,5	55	—	—	1,5	Лужение алюминиевых шин и проводов для соединения с медными
Припой МКС ЦО-12 (420° С)	88	12	—	—	—	

Таблица 8-22

Флюсы для пайки

Наименование и область применения	Состав (по весу)	Для какого припоя
Хлористый цинк (если исключена коррозия)	Раствор цинка в соляной кислоте до полного насыщения	О-1, О-2, ПОС-90
Паяльная мазь (во всех случаях)	Канифоль 50%, сало животное 40%, нашатырь в порошке 10%	
Канифоль (для контактных паек)	—	
Канифоль и паяльная мазь	—	ПОС-40, ПОС-30, ПОС-18
Стеарин и канифоль для пайки и лужения свинца	—	ПОС-4-6, С-1, С-2
Бура при пайке меди и латуни	Бура в порошке, прокаленная и истолченная	ПМЦ
Хлористый цинк и нашатырь при пайке меди и латуни	Хлористый цинк 60%, нашатырь в порошке 3%, спирт 37%	ПСр-70, ПСр-45
Спиртоканифольный при пайке алюминия	Денатурат 84%, канифоль 16%	ЦА-15, ЦО-12

8-7. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица 8-23

Материалы, применяемые в аппаратуре низкого напряжения

Назначение узлов и деталей	Наименование и исполнение деталей	Наименование материала	ГОСТ или ТУ	Область применения
Детали и узлы контактных, токоведущих, дугогасительных и корпусных частей аппаратов				
Детали и узлы для крепления контактных и токоведущих частей аппаратов с рабочей температурой не выше 120° С и не подвергающихся действию дуги	Основания, корпусы и плиты: а) из пластмассы	Пресс-порошок К-18-2 Пресс-порошок К-119-2	ГОСТ 5689-51 ТУМ 667-55	Широко применяются в нормальных условиях, могут заменяться другими пресс-порошками первого типа по ГОСТ 5689-51
		Пресс-порошок К-21-22	ГОСТ 5689-51	При повышенных требованиях к изоляции может заменяться другими пресс-порошками по ГОСТ 5689-51
	б) из листовой твердой изоляции	Асбоцементные электротехнические доски, ацеид	ГОСТ 4248-52	В ряде случаев требует пропитки, например битумами
		Гетинакс листовой	ГОСТ 2718-54	При несложных конфигурациях деталей
	в) керамические	Фарфор	ГОСТ 2634-44	При высоких требованиях к нагревостойкости и влагостойкости
		Стеатит	ГОСТ 5458-57 (тип 2)	При высоких требованиях к нагревостойкости, влагостойкости и точности размеров

Продолжение табл. 8-23

Назначение узлов и деталей	Наименование и исполнение деталей	Наименование материала	ГОСТ или ТУ	Область применения
То же	Круглые и фасонные детали: а) цилиндры и трубы б) фасонные гильзы	Бумажно-бакелитовые трубки и цилиндры диаметром 10—800 *мм*. Бумага бакелизированная лакированная 0,12 и 0,14 *мм*	ГОСТ 8726-58 ВТУ МЭСЭП ОИИ 503.031-53	Широко применяется в нормальных условиях
	в) изолнрованные валы, стержни, планки, сердечники магнитопроводов	Бумага намоточная 0,12 и 0,14 *мм*	ГОСТ 1931-42	Широко применяется в нормальных условиях; при изготовленин металлических изолированных деталей лакируется
	г) слоистые прессованные фасонные детали	Бумага телефонная КТ 0,05 *мм*	ГОСТ 3553-47	Применяется наряду с намоточной, но стоит дороже; перед намоткой лакнруется
	д) изолированные шпильки и другие детали сопротивлений	Электрокартон ЭВ 0,1—0,2 *мм*	ГОСТ 2824-56	При повышенных требованиях к механической прочностн; перед намоткой лакируется
		Асбестовая бумага 0,3 *мм*	ТУ МХП 1281-51	При рабочей температуре свыше 120° С
		Миканит формовочный 0,15—0,3 *мм*	ГОСТ 6122-52	При повышенных требованиях к влагостойкости и нагревостойкости
		Электронит 0,2 — 0,3 *мм*	ТУ МХП 3485-58	
Дугогасительные камеры, не имеющие токоведущих частей, и детали таких камер	Камеры из пластмасс	Пресс-материал асбестопласт	ТКМ МЭП ОББ 503.011-53	
		Пресс-материал асбестоцемент	Заводские инструкции	—
	Керамические камеры	Талькошамотная керамика	Заводские инструкции	—
	Детали сборных камер	Ацеид	ГОСТ 4248-52	—
		Фибра листовая электротехническая марки ФЭ	ГОСТ 6910-54	—
Дугостойкие и нагревостойкие детали плавких предохранителей	Трубки патронов	Фибра трубочная марки ПРФ	ТУ МЛ и БП 294-52	—
		Трубка стеклянная БД-1	ВТУ МЭСЭП НИИ 027.604	При малых размерах предохранителей
		Фарфор	ГОСТ 2634-44	Патроны с наполнителем
		Стеатит	ГОСТ 5458-57 (тип 2)	Патроны с наполнением для предохранителей высокой разрывной способности и прн повышенных требованиях к точности размеров
	Основания контактных деталей и корпуса патронов с резьбой	Фарфор	ГОСТ 2634-44	—
		Стеатит	ГОСТ 5458-57 (тип 2)	При повышенных требованиях к механнческой прочности, точности размеров и разрывной способности

Продолжение табл. 8-23

Назначение узлов и деталей	Наименование и исполнение деталей	Наименование материала	ГОСТ или ТУ	Область применения
		Элементы катушек		
Каркасы из изоляционных деталей и изоляционные детали металлических каркасов	Каркасы из пластмассы	Пресс-порошок К-18-2 и К-119-2	ГОСТ 5689-51 и ТУМ 667-55	При небольших размерах каркаса; могут заменяться другими порошками первого типа по ГОСТ 5689-51
	Каркасы и их детали из листовой изоляции	Трубки и цилиндры бумажно-бакелитовые	ГОСТ 8726-58	При цилиндрической форме центральной части каркаса
		Бумага намоточная	ГОСТ 1931-42	При изготовлении гильз для каркасов, при намотке лакируется
		Бумага бакелизированная лакированная	ВТУ МЭСЭП ОИИ 503.031-53	При изготовлении гильз для изготовления каркасов
		Электрокартон ЭВ	ГОСТ 2824-56	При изготовлении склеиваемых каркасных гильз прямоугольного сечения и для фланцев
		Генинакс листовой	ГОСТ 2718-54	При изготовлении фланцев каркасов больших размеров
Изолирующие детали катушек	Внутренняя изоляция центральной части	Электрокартон ЭВ	ГОСТ 2824-56	Для изоляции и укрепления контактных зажимов, иногда для внешней поверхности каркасных катушек
		Бумага намоточная	ГОСТ 1931-42	Для изолирования центральной части металлических каркасов
	Торцовые шайбы	Бязь, артикулы 592 и 593	ГОСТ 6639-53	Для торцовых шайб каркасных катушек и катушек с металлической центральной трубкой
		Бязь, артикул 595	ТУ НК текстиль 30306-41	
		Шифон, артикуя 86, расшлихтованный	ОСТ 30266-40	Для небольших торцовых шайб
	Изоляция внутреннего вывода и уголков каркаса	Лакоткань шелковая ЛШ-2	ГОСТ 2214-46	У катушек с металлическим каркасом при повышенных требованиях к надежности
		Лакоткань хлопчатобумажная ЛХ-2	ГОСТ 2214-46	Для катушек больших размеров
	Изолирующие прокладки между слоями проводов	Бумага для оклейки электротехнических сталей	ГОСТ 1201-52	Междуслоевая изоляция проводов малых диаметров; при больших диаметрах проводов—бумага намоточная или ткани
	Поверхностная изоляция и механическое крепление	Лента изоляционная тафтяная	ГОСТ 4514-48	Для внешней обмотки большинства катушек и креплений бескаркасных катушек

Продолжение табл. 8-23

Назначение узлов и деталей	Наименование и исполнение деталей	Наименование материала	ГОСТ или ТУ	Область применения
		Лента изоляционная киперная	ГОСТ 4514-48	Для больших катушек и временного крепления катушек перед компаундированием
		Лакоткань ЛХ-2 или ЛШ-2	ГОСТ 2214-46	Для каркасных катушек
Обмотка и выводы	Провода обмоточные	Провод медный эмалированный ПЭЛ	ГОСТ 2773-51	Главным образом для катушек постоянного тока, температура до 105° С, диаметр провода до 1,0—1,56 *мм*
		Провод медный эмалированный высокопрочный ПЭВ	ГОСТ 7262-54	При повышенных требованиях к нагревостойкости (до 120° С) и механической прочности
		Провод медный ПЭЛБО	ГОСТ 6324-52	Для катушек переменного тока. Диаметр от 0,3—0,55 до 1—1,56 *мм*. При малых диаметрах выгоднее применять провод ПЭЛКО
		Провод медный ПБД	ГОСТ 6324-52	Для катушек переменного и постоянного тока при диаметрах провода более 1—1,56 *мм*
		Провода медные ПЭЛКО, ПШКД, ПЭЛШКО	ГОСТ 6324-52	При ограниченных размерах катушек
	Провода для выводов	Провод с изоляцией из лакоткани ЛПЛ, но не лакированной	ВТУ НКЭП 346-44	Для компаундируемых катушек (провод без резиновой изоляции)
		Провод гибкий с резиновой изоляцией ЛПРГС	ГОСТ 2262-50	При пропитке катушек лаками или для припаивания выводов после компаундирования
		Провод медный для щеткодержателей ПЩ или ПЩС	ВТУ НКЭП 242-44	Для выводов компаундируемых катушек с последующей изоляцией трубками
	Трубки изоляционные	Трубки полихлорвиниловые ТВ	ВТУ МЭП ОАА 503.021-53	При температуре—15—+105° С
		Трубки линоксиновые диаметром 1—6 *мм* ТББЛ, ТЛС	ТУК ОММ 505-236-56	При температуре до +100° С
			ТУК ОММ 505-193-56	При температуре более+100° С
		Трубки чулочной ткани	ТУ МЛП 1387-47	—
Вспомогательные детали катушек	Ниточные крепления выводов	Нитки хлопчатобумажные особо прочные	ГОСТ 6309-52	Для крепления выводов
		Нитки хлопчатобумажные № 10—40 суровые	ГОСТ 6309-52	Для сшивания лент и тканей

Продолжение табл. 8-23

Назначение узлов и деталей	Наименование и исполнение деталей	Наименование материала	ГОСТ или ТУ	Область применения
Вспомогательные детали катушек	Ниточные крепления выводов	Нить корда диаметром 0,8 *мм* (полуфабрикат, отходы)	ГОСТ 768-50	Для бандажирования внешней поверхности катушек и крепления элементов больших катушек
Изоляционные детали корпусов, ящиков, шкафов, кожухов				
Перегородки между полюсами, фазами и токоведущими деталями и металлическими стенками	Из листовой твердой изоляции	Асбестцемент ацеид	ГОСТ 4248-52	
		Гетинакс электротехнический	ГОСТ 2718-54	При отсутствии выброса дуги, при повышенных требованиях к механической прочности при небольшой толщине
		Древесно-слоистый пластик ДСП-Б или ДСП-В	ГОСТ 8697-58	
	Пластмассовые	Пресс-порошок К-18-2 и К-119-2	ГОСТ 5689-51 и ТУ 667-55	Небольшие детали при отсутствии выброса дуги, при повышеиной механической прочности
		Пресс-материал асбестпласт	ТУМ МЭП ОББ 503.011-53	Небольшие размеры при высокой дугостойкости
		Пресс-материал асбестцемент	Заводские инструкцин	—
Защита металлических деталей от перебpoса дуги	Из листовой изоляции	Асбестовая бумага 1—1,5 *мм*; то же 0,2—0,5 *мм* асбестовый картон	ГОСТ 2630-44 ТУ МХП 1218-51 ГОСТ 2850-58	—
		Асбестовая ткань	ГОСТ 6102-52	При повышенных требованиях к механической прочности
		Миканит прокладочный или гибкий	ГОСТ 6121-52 ГОСТ 6120-52	Прокладывается между металлом и асбестовым материалом при требованиях высокой электрической прочности
		Лакоткань хлопчатобумажная	ГОСТ 2214-46	
Детали конструкций выводов и токоведущих шпилек	Трубкн	Бумага намоточная	ГОСТ 1931-42	Для болтов и шпилек
		Трубки бумажно-бакелитовые	ГОСТ 8726-58	
	Брускн, планки	Гетинакс листовой	ГОСТ 2718-54	
Уплотнения выводов, крышек и кожухов	Шайбы и прокладки	Электрокартон ЭВ	ГОСТ 2824-56	
		Гетинакс листовой	ГОСТ 2718-54	Для больших деталей и повышенной механической прочиости

Продолжение табл. 8-23

Назначение узлов и деталей	Наименование и исполнение деталей	Наименование материала	ГОСТ или ТУ	Область применения
Уплотнения выводов, крышек и кожухов	Шайбы и прокладки	Резина листовая и фасонная Шнур резиновый	ГОСТ 7338-55 ГОСТ 6467-57	В пыленепроницаемых, водозащищенных, водонепроницаемых, герметических конструкциях
Изоляция голых проводов	Бусы	Бусы фарфоровые	ГОСТ 2634-44 ВТУ МЭП 8 АА 724.014-52	Для повышенной температуры или для особой гибкости проводов, когда нельзя применять обычные изолированные провода
Детали и узлы склеиваемые, пропитываемые, покрываемые лаками, эмалями и другими составами				
Детали и узлы, склеиваемые лаками и другими составами	Детали из слоистой изоляции	Лак бакелитовый 20—50%	ГОСТ 901-56	При склеивании бумаг и тканей необходимо запекание. Шов неэластичный
		Лак асфальтомасляный клеящий БТ-95	ГОСТ 8016-56	Для приклеивания бумаг и тканей. Может обходиться без запекания. Шов более эластичный
		Лак глифталиевый 1155	ВТУ МЭСЭП ОИИ 504.017-53	Для склеивания миканита
		Лак глифталиево-бакелитовый	То же	Для склеивания миканита, когда необходимо сократить время полимеризации
	Детали из пластмасс, твердых листовых материалов	Клей БФ-2 и БФ-4	ТУ МХП 1367-49	Клей БФ-2 более эластичен, чем БФ-4
	Детали, на которых укрепляются токоведущие части сопротивлений	Гипс формовочный Гипс медицинский	ГОСТ 125-57 ГОСТ 4746-49	Для закрепления изоляторов с канавками на металлических деталях
	Детали плавких предохранителей	Замазка разных составов Гипс медицинский	Заводские инструкции ГОСТ 4746-49	Для закрепления колпачков на трубках При заполнении пространства с плавкой вставкой у фарфоровых патронов с резьбой
	Детали из нетвердой изоляции, приклеиваемые к металлу	Клей БФ-2 Лак бакелитовый	ВТУ МХП 367-49 ГОСТ 901-56	
Пропитываемые детали и узлы	Детали из твердой изоляции	Парафин нефтяной	ГОСТ 784-53	Для пропитки деталей из фибры, электрокартона и дерева
		Битум нефтяной БН-Ш-У	ГОСТ 1544-52	Для пропитки плит из ацеида
		Льняное масло	ГОСТ 5791-51	Для пропитки фибры, электрокартона и дерева при повышенных требованиях к нагревостойкости и дугостойкости

Продолжение табл. 8-23

Назначение узлов и деталей	Наименование и исполнение деталей	Наименование материала	ГОСТ или ТУ	Область применения
Пропитываемые детали и узлы	Катушки из обмоточных проводов	Битум нефтяной БН-V	ГОСТ 6617-56	Основное пропитывающее вещество при компаундировании. В последнее время заменяется термореактивными лаками ФЛ-93 (АРБ-1), 321Т и др.
		Битум нефтяной БН-III-У	ГОСТ 1544-52	То же как разбавитель
		Лак асфальтомасляный 458	ГОСТ 6244-52	Для некомпаундированных катушек. Для катушек из провода ПЭЛ—на скипидаре, чтобы не разрушать лаковую пленку провода
		Лак асфальтомасляный 447	ГОСТ 6244-52	При требовании влагостойкости и эластичности, большей, чем у лака 458
		Лак глифталиевый ГФ-95 (ранее 1154) Лак ЭФ-3-БСУ	ГОСТ 8018-56 ТУ МХП 2300-56	Для катушек, работающих в трансформаторном масле. При требовании высокой нагревостойкости до 180° С
Детали и узлы, покрываемые лаками и эмалями	Детали из твердой слоистой изоляции и катушки	Лак бакелитовый 30—50%	ГОСТ 901-56	Для недугостойких покрытий
		Лак покровный асфальтомасляный БТ-99 (ранее 462п)	ГОСТ 8017-56	Для покрытий катушек
		Глифталемасляные эмали: СПД	ТУ МХП 1526-49	Для деталей, требующих гладкую, блестящую, прочную, маслостойкую поверхность
		СВД	ТУ МХП 1527-49	
		КПД	ТУ МХП 2007-49	
		КВД	ТУ МХП 1525-49	
		Теплостойкие покровные эмали	—	Для высокой нагревостойкости до 180° С
	Плиты из ацеида (высококачественная отделка)	Глифталемасляная эмаль КВД	ТУ МХП 1525-49	Для грунтовки
		Глифталевая шпаклевка (КВД, мел и уайт-спирит)	Заводские инструкции	Для шпаклевки глубоких царапин
		Глифталевая грунтовка (лак ГФ-95, эмаль 173, скипидар)	Заводские инструкции	Для грунтовки после шпаклевки
		Лак асфальтомасляный БТ-99 (ранее 462п)	ГОСТ 8017-56	Для покрытия обратной поверхности плиты
		Цапонлак бесцветный 951 и черный 955	ГОСТ 5236-50	Для покрытия лицевой и торцовых сторон плиты
		Грунтовка 138	ГОСТ 4056-48	—

Таблица 8-24

Свойства гетинакса и текстолита

Свойства	Марки гетинакса			Марки текстолита		
	А	Б	В	А	Б	Вч
Предел прочности при изгибе перпендикулярно слоям, *кГ/см²*	1 000	800	1 300	900	1 200	—
Предел прочности при растяжении вдоль листа*, *кГ/см²*	800	700	1 000	600/450	650/550	500/400
Удельный вес, *г/см³*	1,3—1,4	1,25—1,4	1,3—1,4	1,3—1,45	1,3—1,45	1,3—1,45
Теплостойкость по Мартенсу, °С	150	150	150	135	125	125
Нагревостойкость, °С	125	125	115	—	—	—
Удельное поверхностное сопротивление после подсушки**, *ом*	10^{11}	—	10^{10}	10^{11}	10^{10}	10^{11}
Удельное объемное сопротивление после подсушки**, *ом·см*	10^{11}	—	10^{10}	10^{10}	10^{9}	10^{10}
Испытательное напряжение в течение 5 *мин* после подсушки для листов толщиной до 8 *мм* перпендикулярно слоям при 20±5° С***:						
для листов толщиной 1 *мм*, *кв*	25	—	16	8	4	8
для листов толщиной 2 *мм*, *кв*	43	—	31	6	3,5	6
для листов толщиной 3 *мм*, *кв*	56	—	40	5	2	5

Примечание. Назначение разных марок текстолита: А—электроизоляционный материал для работы в трансформаторном масле и воздухе при температуре от —60 до +105° С в высоковольтной аппаратуре; Б—для работы в воздухе при температуре от —60 до +105° С в низковольтной аппаратуре; Вч—для высокочастотной аппаратуры при температуре от —60 до +105° С.

Назначение разных марок гетинакса: А и Б—для работы в трансформаторном масле в высоковольтной аппаратуре; В—для панелей и щитов.

* Для текстолита вдоль листа (поперек листа).

** Для текстолита толщиной до 3 *мм*.

*** Для текстолита толщиной 0,8—1; 1—2; 2—3 *мм* и +90° С.

Назначение лаков, эмалей, компаундов, клеев

Лак 458 — маложирный масляно-битумный лак быстрой печной сушки для пропитки обмоток машин и аппаратов общего назначения. Для пропитки обмоток, выполненных из провода ПЭЛ, рекомендуется лак 458 на скипидаре.

Лак 447 — лак масляно-битумный средней жирности для пропитки обмоток машин и аппаратов, работающих с повышенным нагревом и в условиях повышенной влажности.

Лак 460 — жирный масляно-битумный покровный лак для обмоток, работающих в условиях повышенной влажности.

Лак БТ-99 (462П) и 317 — покровные масляно-битумные лаки воздушной сушки.

Лак ГФ-95 (1154) — масляно-глифталевый лак печной сушки для обмоток, работающих в масле.

Лак 6К — масляно-глифталевый лак для подклейки обмоточных проводов с стекловолокнистой или асбестовой изоляцией.

Лак 1155 (3132) — для склеивания слюды.

Лак К-55 — для эмалирования проводов. Для пропитки оплетки проводов для защиты от влаги.

Эмаль ПВЭ-2 — для покрытия обмоток, работающих при температуре до 160—180° С.

Компаунды 225 и $225_р$ — для компаундирования обмоток, работающих при температуре до 100° С. Имеют высокую электрическую прочность, высокую влагостойкость, стойкость к щелочам и кислотам.

Компаунды КГМС-1 и КГМС-2 — для пропитки катушек.

Компаунды К-168 и К-293 — для защиты радиоаппаратуры от влаги при рабочих температурах —60—120° С.

Эпоксидно-полиэфирный компаунд — для литой изоляции измерительных трансформаторов.

Компаунды МБК — для заливки радиоаппаратуры и электрооборудования, работающих в условиях тропической влажности и воде при температурах от —60 до +120° С.

Компаунд РГЛ-450 — для заливки малогабаритной радиоаппаратуры.

Клей БФ-2 и БФ-4 — для склейки алюминия, меди, стали, пластмасс, фарфора, дерева, фанеры, керамики друг с другом в любых сочетаниях.

Клей БФ-6 — для склейки тканей.

Лак К-71С — для лакировки электротехнической стали, работающей при температуре до 180° С.

Эмаль СПД — для маслоустойчивого электроизоляционного покрытия.

Эмаль СВД 2450 и 1201 — для покрытия обмоток машин и отделки изоляционных деталей.

Эмаль КВД — для окраски аппаратуры.

Эмали ПКЭ-14, ПКЭ-15, ПКЭ-13, ПКЭ-19, ПКЭ-22— для пропитки и покрытия обмоток, работающих при температуре до 180° С.

Таблица 8-25

Электроизоляционные лаки

Показатели	Марка			
	Глифталевый лак 1155	Алкилфенольно-масляный лак СБ-1	Меламиноформальдегидный лак К-421-02	Масляно-глифталевый лак 6К
Время сушки при 100—105° С, *мин*	—	60	30	8
Время сушки при 20° С с отлипом, *ч*	3	—	—	—
Электрическая прочность при 20° С, *кв/мм*	30	75 на бумаге	50	59
ГОСТ и ТУ	ВТУ МЭСЭП ОИИ-594 017-58	ВТУ МХП 2105-49	ТУ Главкраски КУ 159-53	МЭСЭП ОИИ 504 015-53

Таблица 8-26

Масляно-битумные лаки (немалостойкие)

Показатели	Марка			
	447	458	460	БТ-99 (462п)
Время сушки, *ч* не более:				
при 100—105° С	6	3	10	—
при 20° С	—	—	—	3
Пленка	Гладкая блестящая с легким отлипом	Гладкая блестящая без морщин	Гладкая блестящая с легким отлипом	Гладкая блестящая
Электрическая прочность, *кв/мм*:				
при 20° С	55	55	60	50
при 90° С	25	25	30	—
после 24 *ч* выдержки в воде	22	20	22	12
ГОСТ и ВТУ	ГОСТ 6244-52	ГОСТ 6244-52	ГОСТ 6244-52	ГОСТ 8017-56

Таблица 8-27

Масляно-глифталевые и масляно-канифольные лаки

Показатели	Марка		
	ГФ-95 (1154)	МЛ-92 (МГМ-16)	ПТФ-13
Время высыхания при 105° С, *ч*	2	1	1
Маслостойкость пленки в течение 24 *ч* при 100—105° С:	Маслостойка	Масло- и бензиностойка	Масло- и бензиностойка
Электрическая прочность, *кв/мм*:			
при 20° С	70	60	70
при 90° С	30	—	—
После действия воды в течение 24 *ч*	20	30	—
Удельное объемное сопротивление при 20° С, *ом·см*	—	$5 \cdot 10^{13}$	—
ГОСТ и ТУ	ГОСТ 8018-56	МГ ВТУ УХП 13-57	ВТУ МХП 2105-49

Таблица 8-28

Полиорганосилоксановые лаки

Характеристика	Марка		Характеристика	Марка	
	К-47	К-55		К-47	К-55
Время сушки на меди при 200° С, *ч*	0,5	3 *ч* при 20° С	Удельное объемное сопротивление, *ом·см*:		
Электрическая прочность пленки, *кв/мм*:			при 20° С	10^{13}	10^{12}
при 20° С	60	50	при 200° С		
при 200° С	30	25	после 24 *ч* пребывания при относительной влажности 95±3%	10^{11}	10^{11}
после 24 *ч* пребывания при относительной влажности 95 ± 3%	35	25		—	10^{11}
			ТУ	ВТУ МХП М658-55	ВТУ КХЗ 12-56

Таблица 8-29

Электроизоляционные эмали

Показатели	Марка				
	СПД	СВД	КВД	2450	1201
Время сушки, *ч*:					
при 18—20° С	—	24	24	2	16
при 100—105° С	3	—	—	—	—
Вид пленки	Гладкая серая	Блестящая серая	Красная гладкая блестящая	Красная блестящая без пузырей и морщин	Красная гладкая блестящая
Водопоглощаемость за 24 *ч*, %	5	8	8	—	11
Маслостойкость при 105° С	Маслостойка				
Электрическая прочность, *кв/мм*:					
при 20° С	30	30	30	30	30
после 24 *ч* пребывания в воде	10	8	7	10	10
ТУ	МХП 1526-49	МХП 1527-49	МХП 1525-49	МЭП ОАА 504 002-53	МХП 1152-45

Таблица 8-30

Полиорганосилоксановые эмали

Характеристика	Марки				
	ПКЭ-14	ПКЭ-15	ПКЭ-13	ПВЭ-2	ПКЭ-19 ПКЭ-22
Внешний вид	Блестящая пленка без посторонних включений, темно-красная с коричневым оттенком				
Продолжительность сушки на меди при 200° С, *ч*	3	2	2	24 при 20° С	2 при 120° С
Удельное объемное сопротивление, *ом/см*:					
при поставке	10^{13}	10^{13}	10^{13}	10^{12}	10^{13}
при 180° С	10^{10}	10^{10}	10^{10}	—	10^{10}
после 24 *ч* пребывания при 95%-ной влажности	10^{11}	10^{11}	10^{11}	10^{10}	10^{11}
Электрическая прочность пленки, *кв/мм*:					
в исходном состоянии	50	40	50	30	40
при 180° С	16	16	16	—	16
после 24 *ч* пребывания в 95%-ной влажности	16	16	16	10	16
ТУ	МЭСЭП ОАА-504 011-53	МЭСЭП ОАА-504 011-53	Завода „Электроизолит"	МЭП ОАА-504 014-54	ВЭИ

Таблица 8-31

Свойства компаундов

Характеристика	Марки							
	РГЛ450/19	КГМС-2	К-168	К-293	Эпоксидно-полиэфирный	МБК-1	МБК-2	МБК-3
Время затвердевания, *ч*:								
при 20° С	—	—	4	—	—	6—12	6—12	6—12
при 75° С	0,5—1,5	—	—	—	—	8—12	8—12	8—12
при 100° С	—	1,2	—	—	—	8—12	8—12	8—12
при 120° С	—	—	—	2	2—4	—	—	—
Температура размягчения, °С	—	250	—	—	—	250	250	250
Морозостойкость, °С	—50	—60	—60	—60	—40	—60	—60	—60
Электрическая прочность, *кв/мм*	15	13	—	—	40—50	20—25	15—20	13—15
Удельное объемное сопротивление, *ом·см*	10^{10}	$10^{13}/10^{10}$	10^{13}	10^{12}	10^{14}	10^{13}—10^{14}	10^{12}—10^{13}	10^{12}—10^{13}
ТУ	МХП 2282-50	МЭСЭП ОАА 503 031-53	ВЭИ № 23-56	НИИПМ П-52-56	ВЭИ		ОАБ 504.013	

Таблица 8-32

Лакоткани

Марка	Область применения	ГОСТ, ТУ	Характеристика лакотканн	Толщина, *мм*	Электрическая прочность, *кв/мм*
ЛХ1	Однослойная изоляция обмоток, работающих в воздухе	ГОСТ 2214-46	Нормальная светлая с повышенными электрическими свойствами	0,15; 0,17; 0,2; 0,24	28
ЛСЭ-1		ВТУ ИУ 68-57	Эскапоновая стеклолакоткань с повышенными свойствами	0,12; 0,13; 0,15; 0,17; 0,2; 0,24	32
ЛХ-2	Многослойная изоляция низковольтных обмоток, работающих в воздухе	ГОСТ 2214-46	Светлая нормальная	0,15; 0,17; 0,2; 0,24; 0,3	22
ЛХМ	Изоляция обмоток, работающих в масле	ГОСТ 2214-46	Маслостойкая	0,17; 0,2; 0,24	30,5
ЛХС	Изоляция обмоток, подвергающихся воздействию паров бензина и масел	ГОСТ 2214-46	Специальная	0,17; 0,2	25
ЛХЧ2	Изоляция обмоток низковольтных аппаратов	ГОСТ 2214-46	Черная нормальная	0,17; 0,2; 0,24	25
ЛШ-1	Изоляция обмоток, требующих тонкого изоляционного материала с особо высокой электрической прочностью	ГОСТ 2214-46	Шелковая с повышенными электрическими свойствами	0,1; 0,15	50
ЛК-1		ВТУ ИК 10-57	Капроновая с повышенными электрическими свойствами	0,15	50
ЛШ-2		ГОСТ 2214-45	Шелковая нормальная	0,08; 0,1; 0,12; 0,15	36
ЛК-2		ВТУИК 70-57	Капроновая нормальная	0.12; 0,15	36
ЛС-2		ВТУИК 71-57	Нормальная стеклоткань	0,08	

Таблица 8-33

Ленты хлопчатобумажные ГОСТ 4514-48

Наименование	Ширина, *мм*	Толщина, *мм*	Разрывное усилие, *кГ*	Удлинение, %	Вес 100 *м*, *г*
Киперная саржевого переплетения	10	0,45	14	9	187
	12		17		232
	15		21		284
	20		26		368
	25		32		464
	30		37		549
	35		43		645
	40		43		729
	50		58		910
Тафтяная полотняного переплетения	10	0,25	9	8	100
	12		11		120
	15		13		152
	20		16		199
	25		18		244
	30		21		291
	35		23		333
	40		26		384
	50		32		480
Миткалевая полотняного переплетения	12	0,22	12	5	126
	16		16		163
	20		19		209
	25		23		253
	30		27		297
	35		31		340
Батистовая полотняного переплетения	12	0,18	8	5	100
	16		11		128
	20		13		152
	10	0,16	6	4	74
	12		7		82

Ленты вырабатываются из суровой хлопчатобумажной пряжи. Основное назначение лент — верхний защитный слой изоляции и механическое крепление.

РАЗДЕЛ ДЕВЯТЫЙ

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ, ВСТРОЕННЫЕ РЕЛЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

9-1. МАСЛЯНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

ВМ-5, ВМЭ-6 — однобаковые выключатели с простым разрывом дуги.

ВМ-14, ВМ-16 — однобаковые выключатели с простым рызрывом дуги.

ВМ-18 — трехбаковый выключатель внутренней установки с простым разрывом дуги. В баке с маслом помещены только дугогасительные контакты; основные контакты расположены вне бака.

ВМ-22, ВМ-23 — однобаковые выключатели с простым разрывом дуги в масле, без дугогасящих устройств для внутренней (ВМ-22Ф, ВМ-23Ф) и наружной (ВМ-22Н, ВМ-23Н) установки.

ВМ-25 — трехбаковый выключатель с простым разрывом дуги в масле. ВМ-25 предназначен для внутренней, а ВМ-25Н — для наружной установки. Выключатель имеет встроенные трансформаторы тока в трех исполнениях: 600/5, 300/5, 150/5.

ВМБ-10 — однобаковый выключатель для внутренней установки с простым разрывом дуги в масле.

ВМ-35 — трехбаковый выключатель внутренней (ВМ-35Ф) и наружной (ВМ-35Н) установки. Гашение дуги осуществляется с помощью деионных решеток. Выключатель ВМ-35Н имеет встроенные трансформаторы тока в трех исполнениях: 600/5, 300/5, 150/5.

МД-15 — однобаковый выключатель для внутренней установки. Гашение дуги осуществляется в камерах с поперечным масляным дутьем.

МКП-76Д — трехбаковый выключатель на общем каркасе, с общим приводом, наружной установки. Имеет встроенные трансформаторы тока четырех исполнений: 1 500/5, 600/5, 300/5, 200/5. Гашение дуги — в камерах масляного дутья.

МКП-140Д, МКП-153Д, МКП-153С, МКП-160Д, МКП-180Д, МКП-274Д — различные варианты трехбаковых выключателей с большим объемом масла и дугогасительным устройством. Буквы С и Д обозначают простые гасительные камеры (С) и камеры с масляным дутьем (Д). Каждая фаза устанавливается отдельно на фундамент. Привод общий на все три фазы.

Имеют встроенные трансформаторы тока в нескольких исполнениях:

Для выключателей МКП-140Д, МКП-153С и МКП-153Д 600/5, 300/5. 200/5. Кроме того, выключатели МКП-153 и МКП-160 имеют варианты: 1 500/5, 1 000/5, 750/5, 600/5.

Выключатель МКП-180Д имеет два исполнения трансформаторов тока: 1 000/5 и 600/5.

Выключатель МКП-274 имеет трансформаторы тока 800/5, 600/5, 400/5 и 200/5.

МКП-35 — быстродействующий трехбаковый выключатель на общем каркасе с общим приводом. Гашение дуги — в камерах масляного дутья. Имеет встроенные трансформаторы тока следующих исполнений: 1 500/5, 600/5, 300/5, 200/5.

МКП-110М, МКП-110МП — быстродействующие трехбаковые выключатели с гасительными камерами,

Таблица 9-1

Основные характеристики масляных выключателей

Тип выключателя	Напряжение, *кв*		$I_н$, *а*	Значения отключаемого тока и мощности		Максимальный ток сквозного короткого замыкания, *ка*		Ток термической устойчивости, *ка*			Тип провода	Время отключения, *сек*			Время включения, *сек*		Включающий момент на валу, *кГ·м*
	номинальное	максимальное рабочее		*ка*	*Мва*	Амплитуда	Действующее значение	1 *сек*	5 *сек*	10 *сек*		до размыкания контактов	до гашения дуги	полное	до замыкания контактов	полное	
А. Баковые масляные выключатели с простым разрывом дуги в масле																	
ВМ-5	0,5	0,55	200	10	8,6	—	—	10	8,5	6	ГП-15 для 200 *а*	—	—	—	—	—	—
			550	15	13			15	15	10,6	ГП-40 для 550 *а*	—	—	—	—	—	—
	3	3,5	200	3,3	17			10	8,5	6,0	КАМ-II	—	—	—	—	—	—
			550	3,3	17			15	15	10,6		—	—	—	—	—	—
	6	6,9	200	1,4	15			10	8,5	6		—	—	—	—	—	—
ВМ-6	0,5	—	200	10	8,6	16,8	10	10	8,5	6	КАМ-II	0,15	—	—	0,06		
			400	15	13	25	15	15	13,8	10,6		0,17			0,1	—	3
	3	3,5	200	3,3	17	16,8	10	10	8,5	6	ГП-40Б	0,15	—	—	0,06	—	3
			400			25	15	15	13,8	10,6		0,17			0,1		
	6	6,9	200	1,4	15	16,8	10	10	8,5	6		0,15	—	—	0,06	—	3
ВМ-14	0,5	—	200	19	16,5	32	10	19	8,8	6	КАМ-II						6
			600	30	25	50	30	30	19	13,5	ГП-125						7,5
			1 000	35	30	59	35	35	35	25	КАМ-III	0,075	—	—	0,11	—	11,5
			1 250	35	30	59	35	35	35	25	ГП-125						12
	3	4,5	200	19	100	32	10	10	8,5	6	КАМ-II						6
			600	22	115	50	30	30	19	13,5	ГП-125	0,075	—	—	0,11	—	7,5
			1 000	22	115	59	35	35	35	25	КАМ-III						11,5
			1 250	22	115	59	35	35	35	25	ГП-125						12
	6	7,5	200	10	100	32	10	19	8,5	6	КАМ-II						6
			600	10	100	50	30	30	19	13,5	ГП-125	0,075	—	—	0,11	—	7,5
	10	15	200	4,4	75	32	19	19	8,5	8,5	КАМ-II ГП-125	0,075	—	—	0,11	—	6
ВМ-16	0,5	—	200	19	16,5	32	19	19	8,5	6	КАМ-II для					0,25	8
			600	30	26	50	30	30	19	13,5	выключателей	0,12	—	0,14	0,24	0,25	10
			1 000	35	30	59	35	35	35	25	на 200 и 600 *а*					0,26	12
			200	19	100	32	19	19	8,5	6	КАМ-III для					0,25	8
	3	3,5	600	22	115	50	30	30	19	13,5	выключателей	0,12	—	0,14	0,24	0,25	10
			1 000	22	115	59	35	35	35	25	на 1 000 *а*					0,26	12

Продолжение табл. 9-1

Тип выключателя	Напряжение, *кв*		$I_п$, *а*	Значения отключаемого тока и мощности		Максимальный ток сквозного короткого замыкания, *ка*		Ток термической устойчивости, *ка*			Тип провода	Время отключения, *сек*			Время включения, *сек*		Включающий момент на валу, *кГ·м*
	номинальное	максимальное рабочее		*ка*	*Мва*	Амплитуда	Действующее значение	1 *сек*	5 *сек*	10 *сек*		до размыкания контактов	до гашения дуги	полное	до замыкания контактов	полное	
ВМ-16	6	6,9	200 600	9,7 9,7	100 100	32 50	19 30	19 30	8,5 19	6 13.5	ГП-125	0,12	—	0,14	0,24	0,25 0,25	8 10
	10	11,5	200	4,3	75	32	19	19	8,5	6		0,12	—	0,14	0,24	0,25	8
ВМ-18	0,5	—	2 000 3 000	44 44	40 40	— —	— —	50 50	50 50	— —	КАМ-III	0,08	—	—	0,17	—	35 40
	3	4,5	2 000 3 000	19 19	100 100	— —	— —	50 50	50 50	— —	ГП-125						35 40
ВМ-22Ф ВМ-22Н	6	6,9	400 600 1 000 1 500	14	150	49 49 72 72	30 30 44 44	30 30 44 44	— — — —	10 19,5 28 31	КАМ-III ГП-125	0,15	—	0,18	0,24	0,26	7,8 10 14 16
	10	11,5	400 600	7,2	125	49 49	30 30	30 30	— —	10 13,5							7,8 10
ВМ-23Ф ВМ-23Н ВМ-23П	10	11,5	600 1 000 1 500	14,5	250	65 82 90	40 50 55	40 50 55	— — —	21 36 38	ГП-125	0,15	—	0,2	0,28	0,32	—
ВМ-25 ВМ-25Н	20 35	25 40	600 600	8,8 4,4	300 250	— —	— —	30 30	19 19	— —	КАМ-III ГП-125	— 0,075	—	—	0,17	—	19
ВМБ-10	10	11,5	200 400 600	5,8	100	25	15	—	—	6 10 10	ПРА ПС-10 ПМ-10	0,06	—	—	0,25	0,3	4
ВМЭ-6	3 6	3,5 6,9	200	3,3 1,4	17 15	16,8	10	10	8,5	6	ПРБА	0,15	—	—	—	—	4
Б. Баковые масляные выключатели с дугогасительными приспособлениями																	
ВМ-35Ф ВМ-35Н	20 35	25 40,5	600 600	8,8 6,6	300 400	— —	— —	20	15	10,6	КАМ-III ГП-125	0,08	—	—	0,26	—	20
ВМ-35 ВМД-35	35 20	40,5 23	600	6,6	400 200	17,3	10	10	10	7,1	ШНР-35 ШПС-10	0,12 0,12	—	—	0,27	—	20

Продолжение табл. 9-1

Тип выключателя	Напряжение, кв		$I_н$, а	Значения отключаемого тока и мощности		Максимальный ток сквозного короткого замыкания, ка		Ток термической устойчивости, ка			Тип провода	Время отключения, сек			Время включения, сек		Включающий момент на валу, кГ·м
	номинальное	максимальное рабочее		ка	Мва	Амплитуда	Действующее значение	1 сек	5 сек	10 сек		до размыкания контактов	до гашения дуги	полное	до замыкания контактов	полное	
МД-15	3	3,6	600 1 000	2,1 2,9	130 150	60 75	35 45	35 45	24 35	17 25	КАМ-III						
	6	6,9	600 1 000	14,5 14,5	150	60 75	35 45	35 45	24 35	17 25	ГП-125	0,16	—	—	0,25	—	—
	10	11,5	600 1 000	8,5 8,5	150	60 75	35 45	35 45	24 35	17 25	ПС-20		—	—		—	—
МКП-76Д	35	40,5	600 1 200	16,5	1 000	82	50	50 50	30 40	21 28	ПВС-14Б ПВС-150Б	—	—	—	—	—	—
МКП-140Д	110	121	600	5,3	1 000	33	20	20	14	10	ПВС-150Б	—	—	—	—	—	—
МКП-153С МКП-153Д	110	121	600	7,9	150	—	—	—	—	—	ПВС-150	1,086	—	—	0,8	—	—
МКП-160Д	110	121	600	13,2	2 500	49	30	30	20	14	ПС-30Б	0,15	—	—	0,7—0,8	—	—
МКП-180Д	154	164	1 000 600 1 000	9,4	2 500	40	24	26	17	12	ПИ-32Б ПВС-150Б	0,15	—	—	0,7—0,9	—	—
МКП-274Д	220	242	800	6,6	2 500	33	20	20	14	10	ПВМ-108	—	—	—	—	—	—
МКП-160 МКП-160П	110	121	600	13,2	2 500	49	30	30	20	14	ШПС-30Б 3×ШПС-30П	0,07	—	0,35	0,8	0,85	—
МКП-180	154	169	600 1 000	9,4	2 500	—	—	26	17	12	ПВМ-108	—	—	—	—	—	—
МКП-274	220	242	600	6,6	2 500	35	20	20	14	10	ПВМ-108	0,08	—	0,35	1,5	1,55	—
МКП-274П											3×ШПС-30П	0,15			0,7—0,9	1,1	
МКП-35	35	40,5	600 1 000	12,5	750	30	17,3	17,3	12,5	9	ШПС-20	0,05	0,08	0,2	0,33—0,43	0,4—0,45	7,7
	20	23	600 1 000	12,5	430						ШПЭ-2						

Продолжение табл. 9-1

Тип выключателя	Напряжение, кв		$I_н$, а	Значения отключаемого тока и мощности		Максимальный ток сквозного короткого замыкания, ка		Ток термической устойчивости, ка			Тип провода	Время отключения, сек			Время включения, сек		Включающий момент на валу, кГ·м
	номинальное	максимальное рабочее		ка	Мва	Амплитуда	Действующее значение	1 сек	5 сек	10 сек		до размыкания контактов	до гашения дуги	полное	до замыкания контактов	полное	
МКП-110М МКП-110П	110	121	600	18,4	3 500	50	29	29	18,4	13	ШПЭ-33 ШПЭ-31	0,04— 0,06	0,05— 0,08	0,5	0,5— 0,6	0,55—0,65	—
МКП-220	220	242	600	9,2	3 500	50	29	29	18,4	13	3×ШПЭ-42	—	0,08				
ВМ-103	3	4,5	600 1 000 1 500	40	210	—	—	40,0	22,3	—	ГП-103	0,09	—	—	0,25	—	50
	6	7,5	600 1 000 1 500	40	400	—	—	40	22,3	—	ГП-103	0,09	—	—	0,25	—	50
МГГ-10	6	6,9	2 000 3 000	29	300												
	10	11,5	2 000 3 000	29	500	75	43,5	43,5	30	21	ПЭ-2	0,11 0,12	— —	0,24 0,22	— —	0,42 0,44	300 200
МГГ-20	20	23	5 000 6 000	72	2 500	250	144	—	—	85	ПС-31	—	0,2	—	0,65	—	—
МГГ-223 КБ	10	11,5	2 000 3 000	30	500	130	80	80	80	57	ПС-30	0,15	—	0,3	0,55	0,65	160—200
МГГ-229	10	11,5	2 000 4 000	90	1 500	163 198	100 120	100 120	100 120	71 81	ПС-30	0,15 0,15	— —	0,33 0,35	0,65 0,8	0,7 0,85	316—342 —
МГГ-229М	10	11,5	4 000	20	1 500	198	120	120	—	85	ПС-30	—	0,33	—	0,65	—	—
МГГ-529	20 3 6	— 3,5 6,9	4 000 —	45 — 20	1 500 — 200	— —	—	—	—		ПС-30	—	0,33	—	0,65	—	—
ВМГ-133-I	3 6 10	3,5 6,9 11,5	600	20 20 11,6	100 200 200	52	30	30	20	14	ПС-10	—	—	—	0,23	—	—
ВМГ-133-II	10 3 6	11,5 3,5 6,9	600	20 20 20	350 100 200	52	30	30	20	14	ПРБА ПГ-10 ПГМ-10	0,1	—	0,18	0,23 0,28	—	38—40
ВМГ-133-III	10	11,5	1 000	20	350	—	—	—	—	—	УПГП						
МГ-35	35	40,5	600	8,2	500	25	14,5	—	—	7	ШПС-20	0,06	0,08	0,17	0,25	—	—
МГ-110	110	121	600	13,2	2 500	49	30	—	—	14	ПС-30	—	0,08	—	0,3 - 0,35		

Таблица 9-2

Основные характеристики воздушных выключателей

Тип выключателя	Напряжение, *кв*		$I_н$, *а*	Номинальные отключаемые величины тока и мощности		Ток включения, *ка*		Предельный ток сквозного короткого замыкания, *ка*		Ток термической устойчивости 10-секундный, *ка*	Время, *сек*			Давление воздуха, *ат*				Напряжение катушек управления		Номинальный ток катушек			
											отключения		включения							110 *в*		220 *в*	
	номинальное	максимальное рабочее		*ка*	*Мва*	Амплитуда	Действующее значение	Амплитуда	Действующее значение		до гашения дуги	полное		номинальное	минимальное для отключения	минимальное для АПВ	максимальное	номинальное, *в*	пределы рабочего напряжения в % номин.	пофазное включение, *а*	последовательное включение, *а*	пофазное включение, *а*	последовательное включение, *а*
ВВ-15	13,8	—	5 500	85	2 000	250	144	250	144	—	0,1	0,15	0,135	20	—	—	21	—	—	—	—	—	—
ВВН 35	35	40,5	600 1 000	16,5	1 000	42	24	42	24	12	Не более 0,1	0,3	0,3	20	15	19	21	110/220	65—110	—	9	—	4,5
ВВ-110 ВВН-110/800/4000	110	121	600 600	13,2	2 500	50	29	50	29	14	0,08	—	0,3	20	15	19	21	110/220	65—110	7	21	3,5	10,5
ВВН-110/2000/4000	110	121	2 000	21	4 000	55	32	55	32	15	0,08	0,27	0,27—0,32	20	16	19	21	220	65—110	—	—	3,5	9
ВВ-154	154	169	750	18,3	3 000	40	20	40	20	14	0,08	0,29	0,28—0,32	20	—	—	21	—	—	—	—	—	—
ВВН-154/800/4000	154	169	800	15	4 000	45	26	45	26	12	0,08	0,29	0,27—0,32	20	16	19	21	220	65—110	—	—	3,5	9
ВВ-220	220	242	1 000	13,2	5 000	40	23	40	23	10	0,08	0,5	0,45	20	16	19	21	110/220	65—110	7	16	3,5	8
ВВ-400	400	420	2 000	14,5	10 000	35	20	35	20	10	0,08	—	0,45—0,5	20	—	—	21	—	—	—	—	—	—
ВВ-400/2000/15000	400	—	2 000	21,5	15 000	35	—	55	—	21,6	0,03	0,36—0,4	0,9—1,0	20	16	—	21	110/220	65—110	16	—	8	—

с общим (МКП-110М) или пофазным (МКП-110МП) приводом с гасительными камерами. Встроенные трансформаторы тока могут иметь коэффициенты трансформации: 1 000/5, 600/5, 300/5, 200/5.

МКП-220 — выпускаются только с пофазным управлением. Встроенные трансформаторы тока имеют три исполнения: 600/5, 1 000/5, 1 500/5.

ВМ-103 — выключатель горшкового типа с малым объемом масла.

МГГ-10, МГГ-20, МГГ-223КБ, МГГ-229, МГГ-529, МГГ-229М — масляные (горшковые) выключатели шестибаковые с общей рамой и приводом. Главные контакты вынесены из баков, в которых находятся лишь гасительные контакты с камерами. Выполняются только для внутренней установки, с дистанционным управлением.

ВМГ-133 — малообъемный выключатель для внутренних установок трехбаковый. Все баки установлены на общей раме и управляются общим приводом.

МГ-35 — выключатель маломасляный трехбаковый наружной установки с гасительными камерами. Имеет встроенные трансформаторы тока типов ТМГ-35 и ТМГД-35, двух исполнений: 600/5 или 300/5.

МГ-110 — маломасляный трехбаковый выключатель на общей раме с общим приводом, с двумя гасительными устройствами на фазу. Встроенных трансформаторов тока нет.

9-2. ВОЗДУШНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

ВВН-35 — трехполюсный воздушный выключатель наружной установки с гашением дуги струей сжатого воздуха. Все три полюса смонтированы на общей тележке с общим резервуаром сжатого воздуха и общим пневматическим приводом с одной катушкой включения и одной катушкой отключения. Блок-контакты приводятся в действие рычажной передачей от пневматического привода. Привод имеет блокировку от *прыгания*, выполненную на блок-контактах сердечника катушки отключения. Командный импульс на катушки управления подхватывается блок-контактами сердечников катушек и снимается блок-контактами привода.

ВВН-110, ВВН-154 — трехполюсные воздушные выключатели наружной установки с гашением дуги сжатым воздухом. Каждая фаза выключателя является самостоятельным аппаратом, связанным с другими фазами лишь цепями управления и питания сжатым воздухом. Катушки управления выполняются только на 220 *в* и могут соединяться все три или последовательно или параллельно, что указывается в заказе.

Блок-контакты приводятся в действие отдельным пневматическим приводом, управляемым приводом отделителя. Поэтому время переключения блок-контактов значительно больше времени отключения короткого замыкания. Мгновенное АПВ выполняется на контактах гасительной камеры; АПВ с выдержкой времени — с отключением отделителя.

ВВ-220 — трехполюсный воздушный выключатель наружной установки с гашением дуги сжатым воздухом. Каждая фаза является самостоятельным аппаратом и связана с другими только цепями управления и питания воздухом. Катушки управления выполняются на 110 или 220 *в* и могут соединяться все три или последовательно, или параллельно по заказу. Привод выключателя имеет блокировку от *прыгания*, выполненную на контактах катушки отключения. Блок-контакты приводятся в действие рычажной передачей от привода отделителя. Мгновенное АПВ выполняется на контактах гасительной камеры; АПВ с выдержкой времени с отключением отделителя.

ВВ 400/2000/15000 — воздушный выключатель с пофазным управлением с пневматическим подхватом команды. Блок-контакты переключаются рычажной передачей от отделителя.

9-3. АВТОГАЗОВЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И ВЫКЛЮЧАТЕЛИ НАГРУЗКИ

ВГ-10 — безмасляный трехбаковый выключатель. Гашение дуги происходит в дугогасящих камерах за счет газов, образующихся при разложении органического стекла под действием дуги. Привод ППР-21 — пружинный с ручным заводом пружины для включения и отключения.

ВНП-16, ВН-16, ВНП-17 — безмасляные выключатели нагрузки с гашением дуги газами, образующимися при разложении органического стекла дугой. Для отключения короткого замыкания к выключателю при-

Таблица 9-3

Основные характеристики автогазовых выключателей и выключателей нагрузки

Тип выключателя	Напряжение, *кв*		Номинальный ток, *а*	Предельные значения отключаемого тока и мощности		Предельно-включаемый ток, *ка*		Максимальный ток сквозного короткого замыкания, *ка*		10-секундный ток термической устойчивости, *ка*	Тип провода	Время отключения, *сек*	
	номинальное	максимальное рабочее		*ка*	*Мва*	Амплитуда	Действующее значение	Амплитуда	Действующее значение			до размыкания контактов	до гашения дуги
ВГ-10	6	6,9	400	19	200	52	—	52	30	10	ППР-21	—	0,1
	10	11,5	400		300								
ВНП-16	6	6,9	400	800	8,3	—	5,0	25	14,5	6	ПРА-16 ПРА-12	0,08	
ВНП-16 ВНП-17	10	11,5	200	400	6,9	—	2,5	25	14,5	6	ПС-10		

Таблица 9-4

Основные характеристики короткозамыкателей и отделителей

Тип выключателя	Напряжение, *кв*		Номинальный ток, *а*	Предельный включаемый ток, *ка*	Максимальный ток сквозного короткого замыкания, *ка*		Ток термической устойчивости, *ка*		Тип привода	Время отключения, *сек*	Время включения, *сек*
	номинальное	максимальное рабочее		Амплитудное значение	Амплитудное значение	Действующее значение	1 *сек*	10 *сек*			
КЗ-35	35	40,5	—	42	—	—	13	—	ШПК	—	0,4
КЗ-110	110	121	—	34	—	—	15	—		—	0,4
КЗ-154	154	169	—	34	—	—	15	—		—	0,5
КЗ-220	220	242	—	34	—	—	15	—		—	0,5
ОД-35	35	40,5	600	—	80	31	—	12	ШПО	0,5	—
ОД-110	110	121	600	—	80	31	—	12		0,7	—
ОД-154	154	169	600	—	80	31	—	12		0,9	—
ОД-220	220	242	600	—	80	31	—	12		1,0	—

страиваются предохранители типа ПК с номинальным током патрона 30, 75 и 150 *а* на 6 *кв* и 30, 50, 100 *а*— на 10 *кв*. Привод ПРА-16 — только с ручным управлением. Пружинный привод ПРА-12 может использоваться или для автоматического отключения (заводское исполнение) или для автоматического включения путем несложной перестановки пружин.

9-4. КОРОТКОЗАМЫКАТЕЛИ И ОТДЕЛИТЕЛИ

КЗ — короткозамыкатели, предназначены для включения на короткое замыкание в схемах без выключателей. Выполнены на базе разъединителей. Включаются пружиной, освобождаемой приводом ШПК при работе релейной защиты. Отключаются вручную съемной рукояткой, при этом одновременно заводятся и включающие пружины.

ОД — отделители, предназначены в основном для отключения поврежденной части установки (например, трансформатора) после отключения короткого замыкания каким-либо другим выключателем. Кроме того, могут отключать ток холостого хода трансформаторов до 20 *Мва* при 35 *кв* и до 31,5 *Мва* при 110 *кв*.

Отделитель отключается пружиной, освобождаемой приводом ШПО после прекращения тока короткого замыкания. Кроме того, возможно дистанционное отключение с помощью дополнительного электромагнита. Отделитель включается вручную съемной рукояткой; при этом заводятся отключающие пружины.

9-5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРИВОДЫ

ГП-15 — малый электромагнитный привод простейшей конструкции без свободного расцепления.

ГП-40, ГП-40-Б—приводы без свободного расцепления. Отличаются конструкцией передаточного механизма. Кроме того, угол поворота вала у ГП-40-Б составляет 90°, а у ГП-40 — 180°. Блокировка от *прыгания* выполняется на блок-контактах катушки отключения. Вручную включаются съемной рукояткой.

ГП-125 — привод со свободным расцеплением. Блокировка от *прыгания* выполнена на блок-контактах катушки отключения. Для ручного включения служит съемная штанга.

ПВС-14 — привод с свободным расцеплением на всем ходу в двух вариантах: ПВС-14 — для выключателей МКП-76Д, 600 *а* и ПВС-14КБ — для выключателей МГГ-223. Блокировка от *прыгания* выполняется на блок-контактах катушки отключения.

ПВС-150 — привод ПВС-150 в двух вариантах:

а) ПВС-150Б — для выключателей МКП-160 и МКП-76 на 1 200 *а*;

б) ПВС-150КБ — для выключателей МГГ-229.

Привод имеет свободное расцепление и блокировку от *прыгания*, выполненную на блок-контактах катушки отключения.

ПС-10 — привод ПС-10 и аналогичный привод ПС-10М предназначены для внутренней установки. Для наружной установки он помещается в стальной шкаф и называется ШПС-10. Цепи катушки отключения и контактора включения заведены через блок-контакты типа КСУ. Блокировка от *прыгания* выполняется за счет специальной конструкции удерживающей защелки. Привод имеет свободное расцепление.

ПС-20 — привод предназначен для внутренней установки. Для наружной установки он помещается в шкаф и называется ШПС-20. Катушки отключения расположены горизонтально. Привод имеет свободное расцепление. Цепи контактора включения и катушки отключения заведены через блок-контакты типа КСУ. Блокировка от *прыгания* механическая за счет конструкции удерживающей защелки.

ПС-30 — привод для внутренней установки. Для наружной установки помещается в шкаф и называется ШПС-30. Ручное включение производится домкратом. Привод имеет свободное расцепление, блокировка от *прыгания* выполнена на блок-контактах сердечника отключающей катушки. В цепях включения и отключения — блок-контакты КСУ.

ПЭ-2 — привод для внутренней установки с выключателем МГГ-10, имеет механический указатель положения и съемный защитный кожух. Для наружной установки с выключателем МКП-35 привод помещается в шкаф, крепящийся к вертикальной поверхности, не имеет указателя положения и называется ШПЭ-2.

Привод имеет свободное расцепление и механическую блокировку от *прыгания*.

ПЭ-3 — привод предназначался для выключателя МКП-110; с 1954 г. усовершенствован и называется

Таблица 9-5

Основные данные электромагнитных приводов

Тип привода	Тип и номинальный ток выключателя	Соленоид включения							Катушка отключения							
		Диаметр провода ПБД, *мм*	Число витков секции	Сопротивление секции, *ом*	Вес провода секции, *кг*	Длина провода секции, *м*	Установившийся ток при 110/220 *в*, *а*	Пределы рабочего напряжения, % номинального	Марка провода	Диаметр провода по меди, *мм*	Число витков секции	Сопротивление секции, *ом*	Установившийся ток при 110/220 *в*, *а*	Вес провода секции, *кг*	Длина провода секции, *м*	Пределы рабочего напряжения, % номинального
ГП-15	ВМ-5, 200 *а*	1,08	750	3,2	1,92	—	68/34	95—115	ПЭЛ	0,38	2 400	42	5,2/2,6	0,27	—	80—120
ГП-40	ВМ-5, 200—550 *а* ВМ-6, 200—400 *а*	1,35	700	2,42	2,7	—	90/45	95—115	ПЭЛ	0,38	2 400	42	5,2/2,6	0,27	—	80—120
ГП-125	ВМ-14, 200—600 *а* ВМ-16, 200—600 *а*	1,45	500	2,17	3,2	—	101,4/50,7	95—115								
	ВМ-22Ф, 400—600 *а* ВМ-22Н, 400—600 *а*	1,56	480	1,92	3,6	—	114/57	95—115								
	ВМ-14, 1 000—1 250 *а* ВМ-16, 1 000 *а* ВМ-22Ф, 1 000—1 500 *а* ВМ-22Н, 1 000—1 500 *а* ВМ-25, 600 *а*	1,68	440	1,5	3,8	—	147,4/73,7	95—115	ПЭЛ	0,44	2 400	43	5,12/2,56	0,5	—	80—120
	МД-15, 600—1 000 *а* ВМ-23, 600—1 500 *а* ВМ-23Н, 600—1 500 *а* ВМ-35Ф, 600 *а* ВМ-35Н, 600 *а*	1,81	450	1,3	4,25	—	170/85	95—115								
	ВМ-18, 2 000—3 000 *а* ВМ-23П, 600—1 500 *а*	1,95	410	1,0	4,75	—	220/110	95—115								
ПС-30	МКП-35, 600—1 000 *а* МКП 76, 600 *а* МГГ-223, 2 000 *а* МКП-160П	2,44	280	0,98	—	260	225/112,5	80—110	ПЭН	0,35	825	44	5/2,5	—	241	65—120
	МГГ-229М, 4 000 *а*	2×2,83 2,83	250 250	0,33 0,66	29 15	2×234 234	333/166,5									
	МКП-160, 600 *а* МГГ-529, 4000 *а*	3,05	200	0,45	14	188	488/244		ПЭЛ	0,41	1 475	26,8	8,2/4,1	0,24	200	65—120
	МКП-274П, 600 *а*	2,83	250	0,66	15	—	323/166,5		ПЭЛ-1	0,41	1 475	26,8	8,2/4,1	0,24	200	65—120
ПС-31	МГГ-20, 5 000—600 *а*	2×2,83 2,83	250 250	0,33 0,66	29 15	2×234 234	333/166,5	80—110	ПЭН	0,35	1 760	44	5/2,5	—	235	65—120
ПЭ-2	МГГ-10, 2 000—3 000 *а* МКП-35, 1 000 *а*	2,44 2,1	270 370	0,758 1,38	— 11	290 276	292/146 160/80	80—110	ПЭН	0,35	1 825	44	5/2,5	—	241	
ПЭ-3	МКП-110М	3,05	200	0,45	14	188	488/244	80—110	ПЭЛ	0,44	1 340	22	10/5	—	190	55—120
ПЭ-31	МКП-110МП МКП-35, 1 500 *а*	2,26 1,68	400 365	1,3 0,89	13 —	295 270	170/85 248/124									
ПЭ-33	МКП-110М	3,05 3,28 1,56×5,9	200 250 253	0,45 0,406 0,488	18,5 19,5 21,2	188 — —	488/244 450/225 450/225	80—110	ПЭН	0,44	1 340	22	10/5	—	190	55—120
ПЭ-42	МКП-220	1,56×6,9 1,95×6,9	250 225	0,46 0,328	27,9 32,2	278 —	480/240 670/335	63,5—110	ПЭЛ	0,44	1 340	22	10/5		190	55—120
ПВС-7	ВМ-5, 200—550 *а*	1,08	600	3,5	1,9	—	61/30,5	95—115								
ПВС-14	ВМ-25, 600 *а*	2,26	380	0,9	8	—	246/123	95—115	ПЭЛ	0,44	2 400	38	5,8/2,9	0,45		
	МКП-76, 600 *а*	2,44	420	0,95	10	—	132/116									
	МГГ-223, 2 000 *а*	2,83	530	1,0	20	—	220/110	80—110	ПЭЛ	0,44	2 000	34,7	6,31/3,17	0,409		80—120

Продолжение табл. 9-5

Тип привода	Тип и номинальный ток выключателя	Соленоид включения							Катушка отключения							
		Диаметр провода ПБД, *мм*	Число витков секции	Сопротивление секции, *ом*	Вес провода секции, *кг*	Длина провода секции, *м*	Установившийся ток при 110/220 *в*, *а*	Пределы рабочего напряжения, % номинального	Марка провода	Диаметр провода по меди, *мм*	Число витков секции	Сопротивление секций, *ом*	Установившийся ток при 110/220 *в*, *а*	Вес провода секции, *кг*	Длина провода секции, *м*	Пределы рабочего напряжения, % номинального
ПВС-150	МКП-76, 1 200 *а*	3,05	710	1,15	31	—	190/85	80—110								
ПВС-150Б	МКП-160д, 600 *а*	3,05	609	0,55	55		400/200	80—110	ПЭЛ	0,35	1 800	27	5/2,5	0,2		65—120
ПВС-150 ОКБ	МКП-140, 600 *а* МГГ-229КБ, 1 200—4 000 *а*	3,8	650	0,7	52		275/137,5	80—110								
ПС-10 ПС-10М	ВМ-6, 200—400 *а* ВМБ-10, 200—600 *а*	1,08 1,45	460 350	3,2 1,4	1,82 —	132	68/34 157/78,5									
	ВНП-16, 400 *а*	1,45 2×1,45	350 175	1,4 0,35	— —	132 121	76/—									
		1,04 1,45	650 350	5 1,4	— —	245 132	—/34									
	ВГ-10, 400 *а*	2×1,68 1,68	295 590	0,45 1,8	— —	111 222	240/— —/120	80—110	ПЭЛ1	0,35	1 760	44	5/2,5	—	235	65—120
	ВМГ-133, 600 *а*	2×1,56 1,56	334 668	0,564 2,26	— —	121 248	195/— —/97,5									
	ВМГ-133, 1 000 *а*	2×1,68 1,56	295 668	0,45 2,26	—	111 248	240/— —/97,5									
ПС-10Б, 110 *в*	ВМГ-133, 400—1 000 *а*	2×1,56	334	0,56	6,2	—	195/—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ПС-10Ж, 220 *в*	ВМГ-133, 400—1 000 *а* ВМ-35, 600 *а*	1,56	668	2,56	6	—	—/97,5	80—110	ПЭЛ	0,35	1 825	44	5/2,5	0,21	—	65—120
ПС-10	ВМ-16, 200 *а*	1,25	425	2,2	5,2	—	100/50									
ПС-10	ВМ-16, 600—1 000 *а*	1,35	415	1,9	2,9	—	116/58									
ПС-20Б	МД-15, 600 *а* ВМ-35, 600 *а*	1,45	360	1,55	2,5	—	142/71									
ПС-20В	ВМ-18, 2 000—3 000 *а* ВМ-22, 1 000—1 500 *а* ВМ-23, 600—1 500 *а*	1,81	300	1,03	4	—	272/136	80—110	ПЭЛ	0,35	1 825	44	5/2,5	0,21	—	65—120
ПС-20Г	ВМ-22, 400—600 *а*	1,68	420	1,7	4,95	—	127/63,5									
ПС-20	МГ-35, 600 *а*	1,95	370	1,1	—	—	200/100									
	МГ-35В, 600 *а*	2×1,81 1,95	425 850	0,73 2,93	— —	215 430	150/— —/75	80—110	ПЭЛ1	0,35	1 760	44	5/2,5	—	235	65—120
	МГ-35, 600 *а*	2×1,74 1,74	59 900	0,84±8% 3,34±8%	— —	215 430	132/— —/66									
ПС-30	МГГ-229, 4 000—5 000 *а* МГГ-229, 4 000—5 000 *а*	2×2,83 2,83	250 250	0,33 0,66	— —	2×234 234	333/— —/166,5		ПЭЛ1	0,35	1 760	44	5/2,5	—	235	65—120
	МГ-110, 600 *а* МГ-110, 1 000 *а*	2×2,44 2,44	165 330	0,3 1,2	— —	310 310	366/— —/183	80—110	ПЕЛ1	0,41	1 475	26,8	8,2/4,1	—	213	65—120
	МГ-110, 600 *а* с пофазным управлением	2×1,88 1,88	295 410	0,61 2,44	— —	374 874	180/— —/90									

Примечание. Катушки отключения на 24/48 *в* имеют следующие данные:
привод ГП-15 и ГП-40—475 витков провода ПЭБО 0,86 *мм*, сопротивление секции 1,78 *ом*, установившийся ток 27/13,5 *а*, вес одной секции 0,2 *кг*;
привод ГП-125—470 витков провода ПЭБО 1 *мм*, сопротивление секции 1,7 *ом*, установившийся ток 28/14 *а*, вес одной секции 0,54 *кг*;
привод ПС-10, ПС-20, ПС-30—300 витков провода ПБД, 0,8 *мм*, сопротивление секции 1,5 *ом*, установившийся ток 32/16 *а*, вес одной секции 0,2 *кг*.
В новых приводах ПС-10М и ПС-20 катушка отключения выполняется приводом ПЭЛ 0,8 *мм*, число витков 300, сопротивление секции 1,42 *ом*, установившийся ток 33,8/16,9 *а*, длина провода одной секции 40,7 *м*.

ПЭ-33 и ПЭ-31. Привод ПЭ-3 имеет механическую блокировку от *прыгания*, а привод ПЭ-33 и ПЭ-31 — электрическую на блок-контактах сердечника отключающей катушки. Привод ПЭ-33 применяется для одновременного управления всеми фазами выключателя, привод ПЭ-31 — для пофазного управления.

9-6. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ

а) Приводы типа КАМ

Приводы типов КАМ-II и КАМ-III аналогичны по конструкции и отличаются лишь размерами. Привод КАМ-II применяется с выключателями ВМ-6, ВМ-14 и ВМ-16 с номинальным током до 600 *а*. Привод КАМ-III применяется с выключателями ВМ-35, ВМ-25, ВМ-18, ВМ-14 *на* 1 000 *и* 1 250 *а и* ВМ-16 *на* 1 000 *а*.

В отличие от всех остальных ручных приводов приводы КАМ не имеют свободного расцепления. Привод имеет место для установки трех катушек отключения или встроенных реле, в качестве которых могут применяться:

а) катушки отключения, действующие от постороннего источника постоянного или переменного тока;

б) катушки отключения, действующие от насыщающихся трансформаторов тока;

в) встроенное реле максимального тока мгновенное типа РТМ или с выдержкой времени типа РТВ или КАМ;

г) реле минимального напряжения мгновенное типа РМН или с выдержкой времени типа РМНВ.

б) Приводы типов РБА и ПРБА

Приводы типов РБА и ПРБА с ручным включением и автоматическим отключением применяются для выключателей с наибольшим включающим моментом на валу до 40 *кГ·м*. Усилие оператора на рукоятке привода при включении выключателей доходит до 28—30 *кГ* (для выключателей ВМГ-133 и ВМ-35).

В настоящее время привод РБА заменен приводом ПРБА. Габаритные размеры приводов РБА и ПРБА одинаковы.

Привод ПРБА отличается от привода РБА улучшенной конструкцией механизма и встроенными реле.

В привод РБА встраивались только мгновенные реле, в привод ПРБА могут встраиваться реле как мгновенные, так и с выдержкой времени. Общее количество встроенных реле и отключающих электромагнитов не более трех.

Приводы типа ПРБА выпускаются в двух вариантах: с максимальными реле типа РТВ и с общим часовым механизмом, на который работают два мгновенных реле.

Таблица 9-6

Ручные приводы с автоматическим отключением

Типы приводов	Типы выключателей, для управления которыми предназначен привод
КАМ-II	ВМ-6, ВМ-14, В-16 с номинальным током 200—600 *а*
КАМ-III	ВМ-14, ВМ-16 (1 000 и 1 250 *а*), ВМ-18, ВМ-22, МД-15, ВМ-23, ВМ-25, ВМ-35
РБА	ВМ-6, ВМ-16, ВМГ-133, ВМ-35
ПРБА	ВМ-6, ВМ-16, ВМГ-133, ВМ-35
ПАШ, ПРА-10 ПРАМ	ВМБ-10, ВМЭ-6, ВМ-16, ВМГ-133. ВМ-35
ПМ-10	ВМЭ-6
ПРА-12, ПРА-17	ВМ-16, ВНП-16, ВНП-17

Таблица 9-7

Грузовые и пружинные приводы

Типы приводов	Типы выключателей, для управления которыми предназначен привод	Примечание
АПВГ-3	ВМ-6, ВМ-14, ВМ-16, ВМЭ-6, ВМБ-10, ВМ-18, ВМ-22, МД-15, ВМ-23, ВМ-25, ВМ-35, ВМГ-133	Грузовой
АПВГ-2		»
УГП-51		»
УПГ-П		Пружинно-грузовой
ПГ-10, ПГ-10М		Грузовой
ПП-10, ПП-10М		Пружинный
ППР-21	ВГ-10	»
ШПО	Отделители типа ОД	—
ШПК	Короткозамыкатели типа КЗ	—

Таблица 9-8

Варианты исполнения привода РБА

Варианты исполнения	Количество мгновенных токовых реле с токами срабатывания		Количество мгновенных реле минимального напряжения	Количество отключающих электромагнитов с питанием	
	5—10 *а*	5—15 *а*		от независимого источника	от ТКБ
РБА-2	2	—	1	—	—
РБА-3	2	—	—	—	—
РБА-4	3	—	—	—	—
РБА-5	2	—	—	1	—
РБА-6	—	2	1	—	—
РБА-7	—	2	—	—	—
РБА-8	—	3	—	—	—
РБА-11	—	—	—	1	—
РБА-12	—	—	1	—	—
РБА-18	—	—	1	1	—
РБА-21	—	—	—	—	1
РБА-22	—	—	—	1	1
РБА-23	1	—	—	—	—
РБА-24	1	—	1	—	—
РБА-25	—	—	—	—	2

в) Приводы типов ПРА-10 и ПРАМ-10

Привод типа ПРА-10 применяется для выключателей с включающим моментом на валу до 13 *кГ·м* и является конструктивным усовершенствованием привода типа ПАШ-10, выпускавшегося до 1949 г. Привод

Таблица 9-9

Варианты исполнения привода ПРБА

Варианты исполнения		Количество				
Обозначения		реле максимального тока		реле минимального напряжения	отключающих электромагнитов с питанием	
новое	старое	мгновенных	с выдержкой времени		от независимого источника	от ТКБ
ПРБА-114	ПРБА-5	2	—	—	1	—
ПРБА-113	ПРБА-6	2	—	1	—	—
ПРБА-110	ПРБА-7	2	—	—	—	—
ПРБА-111	ПРБА-8	3	—	—	—	—
ПРБА-400	ПРБА-11	—	—	—	1	—
ПРБА-300	ПРБА-12	—	—	1	—	—
ПРБА-340	ПРБА-18	—	—	1	1	—
ПРБА-500	ПРБА-21	—	—	—	—	1
ПРБА-450	ПРБА-22	—	—	—	1	1
ПРБА-100	ПРБА-23	1	—	—	—	—
ПРБА-130	ПРБА-24	1	—	1	—	—
ПРБА-550	ПРБА-25	—	—	—	—	2
ПРБА-223	ПРБА-1	—	2	1	—	—
ПРБА-200	ПРБА-14	—	1	—	—	—
ПРБА-220	ПРБА-15	—	2	—	—	—
ПРБА-222	ПРБА-16	—	3	—	—	—
ПРБА-224	ПРБА-17	—	2	—	1	—
ПРБА-112	—	2	1	—	—	—
ПРБА-350	—	—	—	1	—	1
ПРБА-355	—	—	—	1	—	2
ПРБА-455	—	—	—	—	1	2

Примечание. В новом обозначении цифры 1, 2, 3, 4, 5 обозначают соответственно реле максимальное мгновенное, реле максимальное с выдержкой времени, реле минимального напряжения, отключающий электромагнит с питанием от независимого источника, отключающий электромагнит с питанием от ТКБ.

ПРАМ-10 отличается от привода ПРА-10 наличием встроенных реле максимального тока с выдержкой времени и усовершенствованной конструкцией отключающего механизма.

г) Привод типа ППР-21

Привод типа ППР-21 применяется только с автогазовыми выключателями типа ВГ-10м. Основная особенность привода — наличие пружин для включения. Пружины заводятся четырьмя движениями рукоятки вверх и вниз и запираются в заведенном положении. Включение и отключение производятся или от катушки управления, или вручную дополнительной рукояткой, связанной с блоками управления. Блок управления состоит из катушки включения, помещенной внизу привода, и трех катушек отключения, помещенных сверху привода. В качестве катушек отключения могут применяться отключающие электромагниты постоянного и переменного тока, электромагниты, работающие от трансформаторов тока, и мгновенные реле минимального напряжения. Реле с выдержкой времени встраивать в привод ППР-21 нельзя. Общее количество катушек отключения любого типа в блоке управления не более трех. Привод ППР-21 может применяться для АПВ с электрическим пуском.

Таблица 9-10

Варианты исполнения приводов ПРА и ПРАМ

Тип привода	Варианты исполнения	Количество				
		реле максимального тока		реле минимального напряжения	отключающих электромагнитов с питанием	
		мгновенных	с выдержкой времени		от независимого источника	от ТКБ
ПРА-10	110	2	—	—	—	—
	111	3	—	—	—	—
	113	2	—	1	—	—
	400	—	—	—	1	—
	114	2	—	—	1	—
	350	—	—	1	—	1
ПРАМ-10	110—0	2	—	—	—	—
	110—3	2	—	1	—	—
	220—0	—	2	—	—	—
	112—0	2	1	—	—	—
	224—0	—	2	—	1	—
	114—0	2	—	—	1	—
	400—0	—	—	—	2	—
	455—0	—	—	—	1	2
	500—3	—	—	1	—	1
	500—0	—	—	—	—	1

Таблица 9-11

Варианты исполнения привода ППР-21

Вариант исполнения	Количество			
	мгновенных реле максимального тока	реле минимального напряжения	отключающих электромагнитов с питанием	
			от независимого источника	от ТКБ
ППР-21/110	2	—	—	—
ППР-21/113	2	1	—	
ППР-21/114	2	—	1	—
ППР-21/450	—	—	1	1
ППР-21/455	—	—	1	2
ППР-21/500	—	—	—	1

д) Привод типа ПМ-10

Привод типа ПМ-10 предназначен только для выключателей типа ВМЭ-6 на передвижных закрытых установках. Для автоматического отключения имеет только одно мгновенное реле минимального напряжения на 127 или 220 *в*.

е) Грузовой привод типа АПВГ

Грузовые приводы АПВГ-2 и АПВГ-3 имеют свободное расцепление, механизм автоматического повторного включения, отключающие и включающие электромагниты и встроенные реле.

Собственное время привода (без выключателя) 0,04—0,06 *сек*. Время включения в зависимости от типа выключателя и веса груза колеблется в пределах 0,25—

0,4 *сек*. Время механического АПВ от подачи команды на отключение до повторного замыкания контактов выключателя составляет 0,35—0,5 *сек* в зависимости от типа выключателя. Привод имеет один блок-контакт, замкнутый при поднятом грузе и размыкающийся в начале падения груза, и один блок-контакт, замыкающийся в начале падения груза.

В привод могут быть встроены включающие и отключающие электромагниты постоянного и переменного тока, отключающий электромагнит с питанием от ТКБ и реле: а) токовые мгновенные (РТМ) и с выдержкой времени (РТВ); б) минимального напряжения мгновенные.

Приводы предназначены для выключателей внутренней и наружной установки с номинальным напряжением до 35 *кв*, с вращением вала при включении по часовой стрелке на угол 50—160°, если работа включения не более 25 *кГ·м* и максимальный момент при полном сжатии контактов не более 40 *кГ·м*. Груз поднимается вручную. При ручном отключении механическое АПВ блокируется. Для автоматического подъема груза на привод устанавливается устройство АМР.

ж) Грузовые приводы типов УГП-51, ПГ-10 и ПГМ-10

Грузовой привод УГП-51 выпускался взамен приводов АПВГ-2 и АПВГ-3.

Область применения, времена включения, отключения и АПВ, количество и тип блок-контактов и реле такие же, как и у приводов АПВГ-2 и АПВГ-3. Кроме того, привод УГП-51 имеет нормальные блок-контакты типа КСА, связанные тягами с валом привода, и блок-контакты на отключающем электромагните для блокировки от *прыгания* при установке на приводе устройства АМР. Отключающие реле и электромагниты привода УГП-51 имеют следующие особенности.

Электромагнит дистанционного отключения блокирует механическое АПВ и поэтому потребляет значительную мощность. Отключающие электромагниты, действующие от защиты и встроенные реле, не блокируют механическое АПВ. Если при работе защиты необходим запрет механического АПВ, то необходимо или удалить некоторые детали внутри привода (для полного запрета), или вывести из работы АПВ специальной рукояткой (для временного запрета).

Привод имеет приспособление для блокировки с разъединителями с помощью замка с ключом.

Для автоматического подъема груза на привод устанавливается дополнительное устройство АМР. АМР состоит из универсального двигателя постоянного и переменного тока и редуктора; система шестерен связывает редуктор с штурвалом привода.

Время подъема груза в зависимости от его веса составляет 6—10 *сек* при номинальном напряжении на двигателе. При понижении напряжения постоянного тока до 85% номинального время подъема груза увеличивается на 25%; при переменном токе допустимо снижение напряжения питания не более чем на 10%.

Повышение напряжения питания допускается до 120% номинального; при большем повышении напряжения двигатель должен включаться через добавочное сопротивление. Для АМР заводом поставляется универсальный коллекторный двигатель типа МУН-100/80 на 110 или 220 *в* постоянного или переменного тока мощностью 80—100 *вт*.

Аналогичный привод типа ПГ-10 выпускается в двух модификациях: ПГ-10 (с ручным подъемом груза) и ПГМ-10 (с автоматическим подъемом груза). Приводы предназначены для выключателей с максимальным моментом на валу до 40 *кГ·м* и углом поворота вала 90—160°.

Приводы имеют блок-контакты:

а) несоответствия (аварийного отключения) типа БКА, встроенный в привод;

б) контролирующий положение груза типа БКГ, встроенный в привод;

в) нормальный типа КСА на 8 цепей, связанный тягами с приводом и устанавливаемый на стене над приводом.

Таблица 9-12

Варианты исполнения приводов типов ПГ-10 и ПГМ-10

Исполнение	Количество				
	максимальных токовых реле		реле минимального напряжения	отключающих электромагнитов с питанием	
	РТМ	РТВ		от независимого источника	от ТКБ
ПГ-10/110, ПГМ-10/110	2	—	—	—	—
ПГ-10/113, ПГМ-10/113	2	—	1	—	—
ПГ-10/114, ПГМ-10/114	2	—	—	1	—
ПГ-10/220, ПГМ-10 220	—	2	—	—	—
ПГ-10/224, ПГМ-10/224	—	2	—	1	—
ПГ-10/350, ПГМ-10/350	—	—	1	—	1
ПГ-10/400, ПГМ-10/400	—	—	—	1	—
ПГ-10/455, ПГМ-10/455	—	—	—	1	2
ПГ-10/500, ПГМ-10/500	—	—	—	—	1

з) Привод типа УПГП

Привод пружинно-грузового типа применяется для выключателей с максимальным моментом на валу до 40 *кГ·м* внутренней и наружной установки. Натяжение включающих пружин производится вручную или автоматически при помощи АМР — автоматического моторного редуктора. Привод имеет устройство для мгновенного механического АПВ; блок-контакты типа КСА на 4, 6 или 8 цепей (по заказу); блок-контакт аварийный БКА-2, сигнализирующий аварийное отключение, блок-контакт, контролирующий состояние пружин, счетчик числа отключений, устройство для блокировки выключателя с разъединителями. В привод могут быть встроены: реле РТМ, РТВ, РМН, электромагниты дистанционного включения и отключения и электромагниты для отключения от защиты.

Автоматический моторный редуктор АМР типа 2УПА имеет универсальный коллекторный двигатель типа МУН на 110 и 220 *в* постоянного и переменного тока мощностью 80—100 *вт*. Время завода пружин в пределах 6—15 *сек* в зависимости от типа выключателя и установленного натяжения пружин. При понижении напряжения постоянного тока до 85% время увеличивается на 25%.

и) Привод ППМ-10

Пружинный привод с автоматическим заводом пружин типа ППМ-10 предназначен для выключателей с максимальным моментом на валу до 40 *кГ·м* и статической работой на включение до 20 *кГ·м*, с углом поворота вала в пределах 100—140°.

Таблица 9-13

Варианты исполнения приводов УПГП с 1959 г.

Варианты исполнения	Количество встроенных реле и отключающих электромагнитов						
	Максимальное токовое реле		Мгновенное реле минимального напряжения типа РНМ	Отключающие электромагниты с питанием		Электромагниты дистанционного	
	мгновенное типа РТМ	с выдержкой времени типа РТВ		от независимого источника напряжения	от ТКБ	включения	отключения
УПГП/110	2	—	—	—	—	1	1
УПГП/113	2	—	1	—	—	1	—
УПГП/220	—	2	—	—	—	1	1
УПГП/350	—	—	1	—	1	1	—
УПГП/355	—	—	1	—	2	1	—
УПГП/400	—	—	—	1	—	1	1
УПГП/440	—	—	—	2	—	1	1
УПГП/500	—	—	—	—	1	1	1
УПГП/550	—	—	—	—	2	1	1

Примечание. Обозначение вариантов указывает количество встроенных реле и релейных отключающих электромагнитов: цифра 1 обозначает реле РТМ; цифра 2—реле РТВ; цифра 3—реле РНМ; цифра 4—отключающий электромагнит с питанием от независимого источника; цифра 5—отключающий электромагнит с питанием от ТКБ.

Привод осуществляет мгновенное механическое АПВ или электрическое АПВ с выдержкой времени (в этом случае механическое АПВ выводится из работы).

Таблица 9-14

Варианты исполнения приводов ППМ

Вариант исполнения	Количество			
	токовых реле		электромагнитов отключения	реле минимального напряжения с выдержкой времени
	мгновенных	с выдержкой времени		
ППМ-10/1124	2	1	1	—
ППМ-10/1140	2	—	1	—
ППМ-10/1144	2	—	2	—
ППМ-10/1146	2	—	1	1
ППМ-10/1224	1	2	1	—
ППМ-10/1226	1	2	—	1
ППМ-10/1246	1	1	1	1
ППМ-10/1400	1	—	1	—
ППМ-10/2240	—	2	1	—
ППМ-10/2244	—	2	2	—
ППМ-10/2246	—	2	1	1
ППМ-10/2400	—	1	1	—
ППМ-10/4400	—	—	2	—
ППМ-10/4460	—	—	2	1

Цифровое обозначение: 1—мгновенное токовое реле; 2—токовое реле с выдержкой времени; 4—электромагнит отключения; 6—реле минимального напряжения с выдержкой времени.

Время включения, отключения и цикла механического АПВ зависит от типа выключателя, натяжения пружин и качества регулировки привода.

Приблизительные времена действия привода: включение — 0,4—0,35 *сек*, отключение — 0,1—0,15 *сек*; бестоковая пауза при механическом АПВ — 0,35—0,6 *сек*.

В привод встраиваются (по заказу):

а) отключающие электромагниты постоянного или переменного тока;

б) реле тока мгновенные типа РТМ и с выдержкой времени типа РТВ;

в) реле минимального напряжения с выдержкой времени типа РНВ.

Для завода пружин применяется электродвигатель типа МУН-1Э (110 *в* постоянного и 127 *в* переменного тока) или МУН-2Э (220 *в* постоянного и переменного тока). Потребляемая мощность при заводе пружин — около 350 *ва*. Время завода пружин — 6—15 *сек*.

Особенностью привода являются:

а) регулировка тока срабатывания мгновенных реле тока типа РТМ путем изменения зазора между стопом и сердечником;

б) наличие встроенного реле минимального напряжения с выдержкой времени.

к) Привод ПРА-12

Привод ПРА-12 предназначен для ручного включения и ручного или дистанционного отключения выключателей нагрузки ВНП-16 и ВН-16.

Привод имеет один отключающий электромагнит постоянного или переменного тока и свободное расцепление.

л) Приводы типов ШПК и ШПО

Привод ШПК служит для включения короткозамыкателя типа КЗ, привод ШПО служит для отключения отделителя типа ОД. Отключение короткозамыкателя и включение отделителя производятся этими приводами с помощью съемной рукоятки. Одновременно заводятся пружины отделителя и короткозамыкателя. В привод ШПК встраиваются два мгновенных реле тока и один отключающий электромагнит с питанием от независимого источника тока. В привод ШПО встраивается отключающий электромагнит с питанием от независимого источника тока и одно специальное блокирующее реле, питающееся от трансформатора тока типа ТШЛ-0,5. Схема с короткозамыкателем и отделителем работает следующим образом: при работе защиты срабатывают реле или катушки отключения привода ШПК, который в это время находится во включенном состоянии. Привод отключается и освобождает заведенные при отключении короткозамыкателя пружины, которые и включают короткозамыкатель.

В сети с заземленной нейтралью короткозамыкатель включается через трансформатор тока типа ТШЛ-0,5, от вторичной обмотки которого питается блокирующее реле в приводе ШПО отделителя. При прохождении тока короткого замыкания блокирующее реле заводит отключающую пружину и держит ее до окончания прохождения тока короткого замыкания. После отключения короткого замыкания каким-либо выключателем со стороны питания блокирующее реле привода ШПО освобождает заведенную пружину, которая отключает приводом ШПО отделитель.

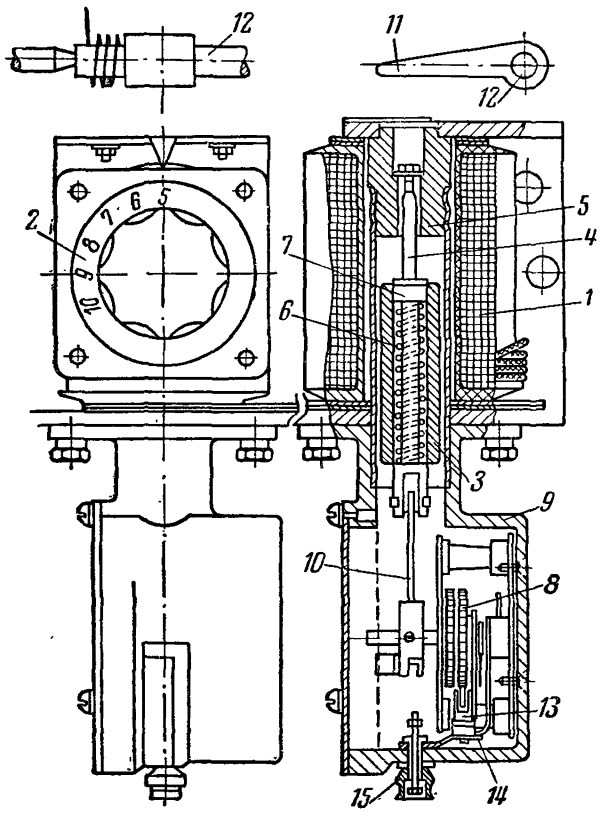


Рис. 9-1. Вторичное реле максимального тока прямого действия с ограниченно-зависимой характеристикой типа РТВ.
1 — обмотка; *2* — поворотный переключатель; *3* — сердечник; *4* — ударник; *5* — неподвижный полюс; *6* — пружина; *7* — стопорное кольцо; *8* — часовой механизм; *9* — кожух; *10* — тяга; *11* — рычаг отключающего валика; *12* — отключающий валик; *13* — рычаг изменения выдержки времени; *14* — пластинка; *15* — установочный винт.

9-7. ВСТРОЕННЫЕ РЕЛЕ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ И ОТКЛЮЧАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ

Реле типа РТВ

Реле типа РТВ устанавливается в приводах типов ППМ, ПГМ, ПРБА и др. Реле максимальное токовое с ограниченно-зависимой характеристикой (рис. 9-1). Основные детали реле: а) обмотка с отпайками для регулировки тока срабатывания *1*; б) переключатель токов срабатывания *2*; в) сердечник *3* с ударником *4* и механизмом выдержки времени *8*.

Схема подключения отпаек обмотки к переключателю приведена на рис. 9-2.

Перестановкой рукоятки можно получить номинальные токи срабатывания 5, 6, 7, 8, 9 и 10 *а*. Номинальные н. с. ($F_{ср}$) срабатывания реле равны $F_{ср}=I_{ср}w=1\,500$, где $I_{ср}$ — номинальный ток срабатывания: w — число витков обмотки, подключенных к трансформатору тока. Переключение тока срабатывания производится без разрыва цепи трансформатора тока, так как ползунок переключателя перекрывает зазор между соседними контактами.

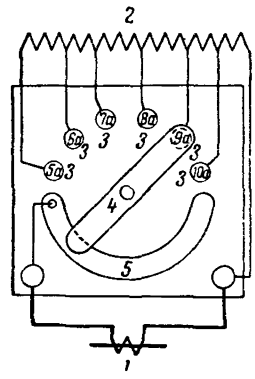


Рис. 9-2. Схема включения переключателя числа витков обмотки реле РТВ.
1 — трансформатор тока; *2* — обмотка реле; *3* — контакты; *4* — контактная щетка; *5* — контактная шинка.

Если конец обмотки отключить от выходного зажима переключателя и подключить вместо него одну из отпаек, то можно увеличить ток срабатывания до 88 *а*.

Выдержка времени в независимой части регулируется от 4 до 0,5—0,7 *сек*. Разброс времени в независимой части у исправного реле порядка 0,1÷0,15 *сек*.

При прохождении тока в катушке реле свыше установленного тока срабатывания сердечник реле *3* поднимается и сжимает пружину *6*. Если ток не превосходит 2,5—3-кратного от тока срабатывания, то сердечник не может сжать пружину, пружина работает как жесткая связь и тянет за собой ударник, мгновенному движению которого препятствует часовой механизм. Реле работает в зависимой части характеристики. При токах более 2,5—3-кратного от тока срабатывания сердечник сразу полностью сжимает пружину и реле работает в независимой части характеристики. Когда доработает часовой механизм, то сердечник и ударник освобождаются, ударник с силой ударяет в рычаг отключающего валика и выключатель отключается. Характеристики реле приведены на рис. 9-3.

Коэффициент возврата реле зависит от кратности тока короткого замыкания относительно тока срабатывания и от времени прохождения этого тока. При малых кратностях, когда реле работает в зависимой части характеристики, пружина не сжимается и возврат реле определяется лишь расстоянием от сердечника до стопа, которое в свою очередь зависит от времени прохождения тока. Коэффициент возврата при этом составляет в среднем около 0,7. При токах порядка двукрат-

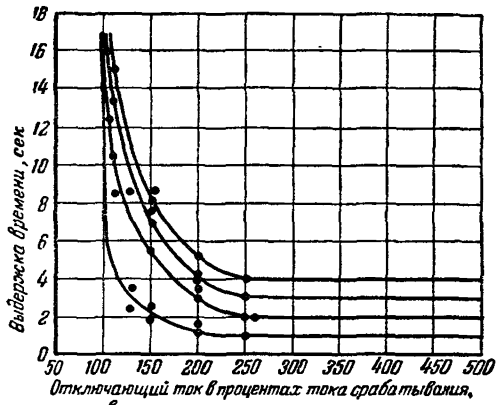


Рис. 9-3. Характеристика реле РТВ $t=f(I)$.

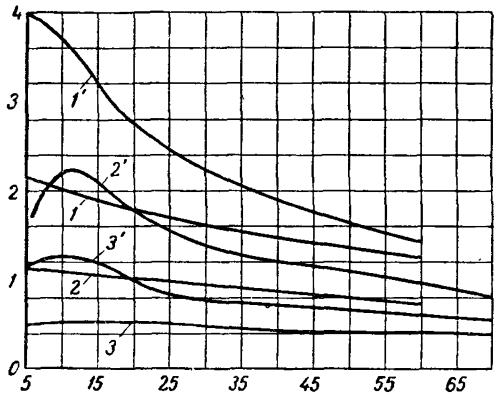


Рис. 9-4. Полное сопротивление обмотки реле РТВ.
1 — уставка 5 *а*, сердечник опущен; *1'* — уставка 5 *а*, сердечник втянут; *2* — уставка 7 *а*, сердечник опущен; *2'* — уставка 7 *а*, сердечник втянут; *3* — уставка 10 *а*, сердечник опущен; *3'* — уставка 10 *а*, сердечник втянут.

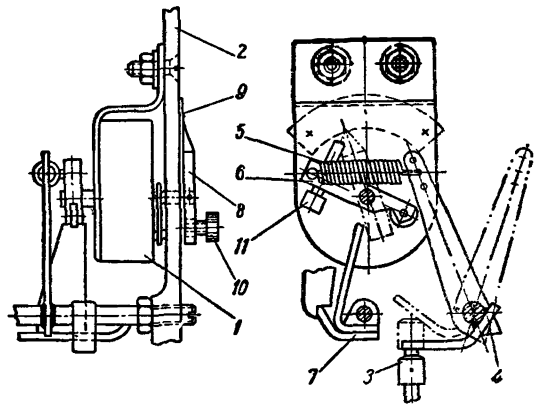


Рис. 9-5. Механизм выдержки времени реле максимального тока.
1 — часовой механизм; *2* — корпус привода; *3* — ударник мгновенного токового реле; *4* — релейный валик; *5* — пружина; *6* — двуплечий рычаг; *7* — отключающая планка; *8* — указатель выдержки времени; *9* — шкала; *10* — стопор; *11* — груз.

ного начинает сказываться влияние пружины и коэффициент возврата повышается до 0,75—0,8.

При больших кратностях (порядка 4—5 и более) коэффициент возврата в основном определяется пружиной и составляет около 0,85.

Сопротивление обмотки реле зависит от уставки тока срабатывания, положения сердечника и величины тока через реле. Характер его изменения приведен на рис. 9-4.

Потребление реле определяется по обычному выражению $S=I^2z$, где I — ток, проходящий по реле, z — полное сопротивление обмотки реле по рис. 9-4 в зависимости от уставки, величины тока и положения сердечника.

Обмоточные данные реле приведены в табл. 9-15.

Реле типа КАМ

Реле типа КАМ весьма похоже на реле РТВ и отличается от него лишь конструкцией механизма выдержки времени и переключателя. Характеристики выдержки времени, коэффициент возврата, сопротивление обмотки и потребление такие же, как у реле РТВ.

Конструкция переключателя тока срабатывания другая: вместо поворотного — штепсельный переключатель. При вынутом штепселе в цепь трансформаторов тока автоматически включаются 150 витков; поэтому изменение тока срабатывания можно производить под нагрузкой.

Реле тока с выдержкой времени привода ПРБА

Эти реле (рис. 9-5) состоят из одного или двух реле мгновенного действия и часового механизма.

Бойки реле *3* ударяют по лапкам промежуточного валика *4*, который поворачивается и ведет часовой механизм *1* через пружину *5* и рычаг *6*. По истечении выдержки времени часовой механизм нижним концом рычага *6* ударяет по лапке отключающего валика *7* и отключает выключатель.

В привод может быть встроено еще одно реле тока или отключающий электромагнит, бойки которых действуют непосредственно на отключающий валик помимо часового механизма. Токовые реле с выдержкой времени имеют токи срабатывания 5, 6, 7, 8, 9 и 10 *а*; выдержка времени регулируется в пределах 0—4 *сек* в независимой части. В зависимости от количества работающих реле выдержки времени изменяются: при работе одного реле выдержки времени при одном и том же токе больше, чем при работе двух реле. На рис. 9-6 представлены характеристики $t=f(I)$ для работы одного реле (кривая *1*) и двух реле (кривая 2).

Обмоточные данные, сопротивление и потребление этих реле такие же, как у реле КАМ и РТВ. Конструкция бойков и сердечников такая же, как у реле РТМ и отключающих электромагнитов.

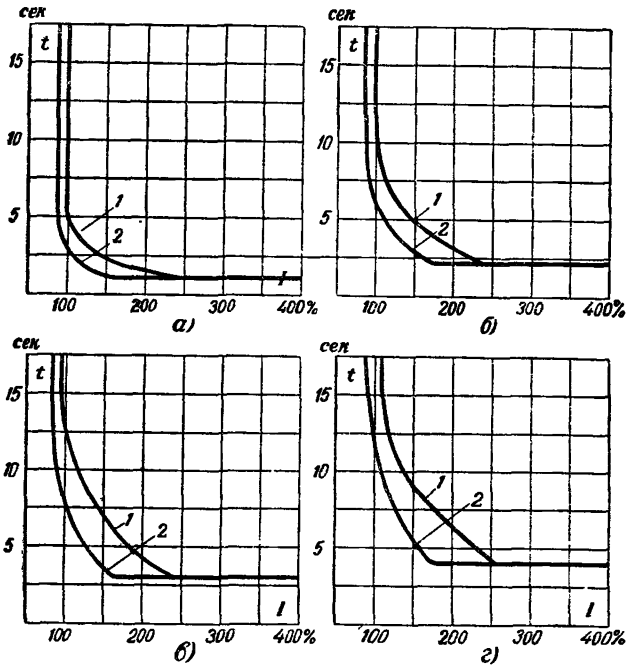


Рис. 9-6. Характеристики максимального реле с выдержкой времени привода ПРБА.
а — уставка 1 *сек*; *б* — уставка 2 *сек*; *в* — уставка 3 *сек*; *г* — уставка 4 *сек*.

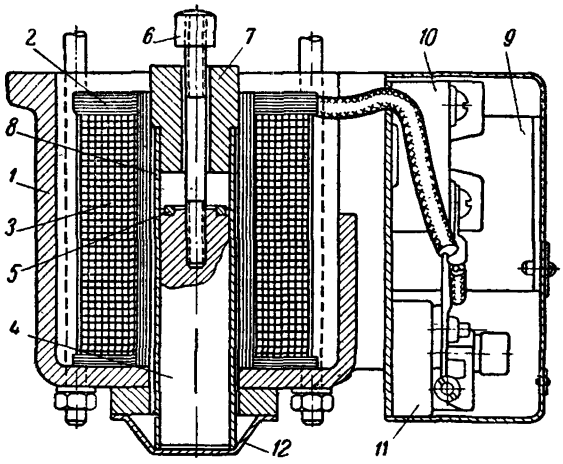


Рис. 9-7. Мгновенное реле тока привода РБА.
1 — корпус; *2* — каркас катушки; *3* — обмотка; *4* — сердечник; *5* — короткозамкнутый виток или шайба; *6* — боек; *7* — стоп; *8* — гильза; *9* — коробка выводов; *10* — выводы; *11* — переключатель тока срабатывания; *12* — крышка.

Мгновенные реле тока, отключающие и выключающие электромагниты

Конструкция мгновенных реле тока РТМ, включающих и отключающих электромагнитов переменного и постоянного тока с питанием от ТКБ и независимого источника тока у всех приводов примерно одинакова и состоит из обмотки, внутри которой помещен сердечник с бойком и стопа. При подаче тока в обмотку сердечник мгновенно притягивается к стопу и боек его воздействует на отключающий механизм привода. Реле РТМ имеют регулировку тока срабатывания путем изменения количества витков, включенных на трансформаторы тока. Переключатели тока срабатывания такого же типа, как у реле РТВ и КАМ. Для уменьшения потребления реле и электромагнитов переменного тока выполняются пустотелые (трубчатые) сердечники, продольная прорезь в массивном сердечнике, коническая форма стопа и сердечника, продольная прорезь в направляющей втулке, уравновешивание якоря на пружине и т. д. Различные конструкции приведены на рис. 9-7—9-9, а обмоточные и прочие данные — в табл. 9-16—9-18.

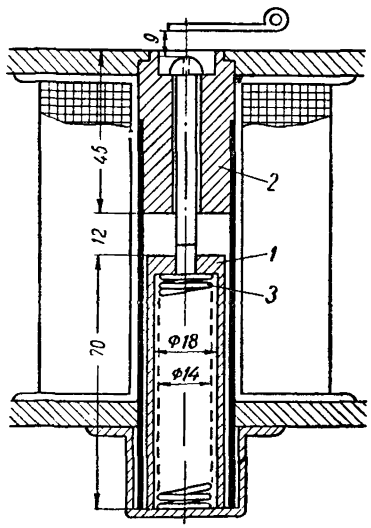


Рис. 9-8. Отключающая катушка привода ПГ-10 с облегчением сердечником.
1 — якорь; *2* — стопор; *3* — пружина.

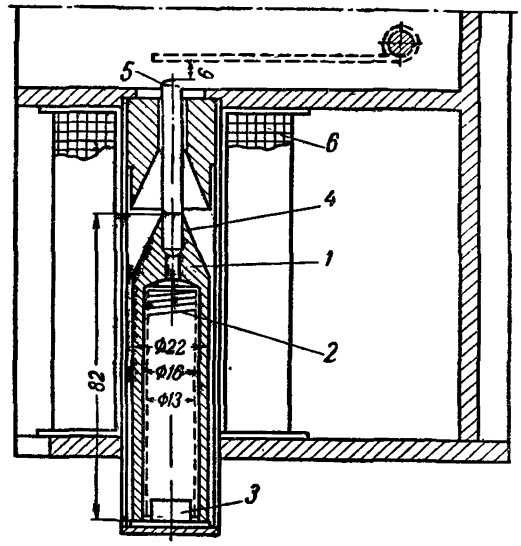


Рис. 9-9. Уравновешенный якорь отключающей катушки привода УГП-51.
1 — якорь; *2* — уравновешивающая пружина; *3* — установочный латунный упор; *4* — латунная прокладка; *5* — боек; *6* — катушка.

В последнее время выпущен новый вариант мгновенного реле тока с регулировкой тока срабатывания путем изменения начального расстояния между сердечником и стопом.

Реле минимального напряжения

В мгновенном реле минимального напряжения (рис. 9-10) обмотка *1* всегда находится под напряжением и сердечник *3* притянут к стопу *2*. Пружина *6* сжата и удерживается системой рычагов *5*. При понижении напряжения до 30—65% номинального пружина *7* отрывает сердечник от стопа, сердечник опускается и освобождает систему рычагов *5* и пружину *6*. Под действием пружины боек *4* движется вверх и отключает выключатель. Для обратного включения выключателя необходимо подать напряжение (не менее 0,85 номинального) и завести пружину *6* вручную, потянув за нижний конец бойка или нажатием сверху на ударник специальной лапкой привода. Конструктивным вариантом является реле минимального напряжения привода ПМ-10 (рис. 9-11). При снижении напряжения сердечник *4* опускается, концом штока *6* поворачивает собачку *5* и освобождает планку *7*. Планка *7* под действием пружины *8* поворачивается и скобой *9* освобождает защелку привода.

Реле минимального напряжения с выдержкой времени типа РНВ (рис. 9-12) отличается от мгновенного реле РН наличием часового механизма, аналогичного часовому механизму реле РТВ. При снижении напряжения сердечник реле воздействует на часовой механизм и отключает выключатель лишь по истечении заданной выдержки времени, регулируемой в пределах 0—5 *сек*. Если напряжение восстановится раньше, то сердечник вновь поднимается. Обмоточные данные реле минимального напряжения приведены в табл. 9-19.

Таблица 9-15

Данные обмоток максимальных токовых реле с выдержкой времени типов РТВ и КАМ

Тип привода	Тип реле	Марка провода	Диаметр провода, *мм*	$I_{ср}$, *а*	Число витков	*r*, *ом*	Вес обмотки, *кг*	Потребление, *ва*
КАМ-II, КАМ-I	КАМ	ПБД	1,81/2,08	5	300	0,3		
				6	250	0,246		
				7	215	0,208	1,17	50
				8	188	0,18		
				9	167	0,164		
				10	150	0,147		
ПРБА, УГП-51, УПГП до 1959 г.	РТВ	ПБД	1,81/2,08	5	300	0,3		
				6	250	0,246		
				7	215	0,268		
				8	188	0,180	1,2	50
				9	167	0,164		
				10	150	0,147		
УПГП с 1959 г.	РТВ	ПБД	1,81/2,08	5	300			
				7,5	200		1	50
				10	150			

Таблица 9-16

Отключающие и включающие электромагниты грузовых и пружинных приводов

Тип привода	Назначение электромагнита	Род тока	$U_н$, *в*	Число витков	Провод		*r*, *ом*	Потребляемая мощность, *ва*	$I_к$, *а*
					Марка	Диаметр, *мм*			
УГП-51, УПГП до 1959 г.	Дистанционное отключение и включение	Постоянный	24	1 100	ПБД	0,8—0,83	4,8—5,7	—	4,2—5
			36	1 650	ПБД	0,64—0,69	11—13,5	—	2,7—3,3
			48	2 200	ПБД	0,55—0,57	18,5—23	—	2,1—2,6
			110	5 000	ПЭ	0,41—0,44	90—100	—	1,1—1,2
			220	10 000	ПЭ	0,27—0,29	400—480	—	0,46—0,55
		Переменный	110	950	ПБД	0,8—0,83	4—5	—	6/2,2
			220	1 900	ПБД	0,55—0,59	17—20	—	3/1,4
	Отключение от защиты	Постоянный	24	1 000	ПБД	0,55—0,74	5,2—9,5	—	2,5—4,6
			36	1 500	ПБД	0,47—0,51	19—22	—	1,6—1,9
			48	2 000	ПБД	0,41—0,44	30—35	—	1,4—1,6
			110	4 000	ПЭ	0,21—0,29	100—115	—	0,96—1,1
			220	9 000	ПЭ	0,23—0,25	420—500	—	0,44—0,58
		Переменный	110	1 100	ПБД	0,69—0,74	—	—	4,4/2
			220	2 200	ПБД	0,49—0,51	—	—	2,2/1
Грузовой привод КАМ Мосэнерго	Включение	Постоянный	110	2 500	ПБД	0,4	—	—	—
			36—40	2 200	ПЭ или ПБД	0,6	—	—	—
			24	1 500	ПБД	0,8	—	—	—
УПГП с 1959 г.	Дистанционное отключение	Постоянный	24	900	ПБД	0,86—0,9	3,8	150	6,3
			36	1 350	ПБД	0,69—0,74	8,5	150	4,2
			48	1 800	ПБД	0,69—0,74	15	150	3,2
			110	4 100	ПЭ	0,41—0,44	80	150	1,4
			220	8 200	ПЭ	0,29—0,31	320	150	0,7
		Переменный	110	750	ПБД	0,9—0,93	—	900/400	9/4
			127	950	ПБД	0,8—0,83	—		7/3,1
			220	1 650	ПБД	0,62—0,61	—		4,1/1,8

Продолжение табл. 9-16

Тип привода	Назначение электромагнита	Род тока	$U_н$, в	Число витков	Провод		r, ом	Потребляемая мощность, ва	$I_н$, а
					Марка	Диаметр, мм			
УПГП с 1959 г.	Дистанционное включение	Постоянный	24	1 100	ПБД	0,8—0,83	5,3		4,5
			36	1 650	ПБД	0,64—0,67	12		3
			48	2 200	ПБД	0,57—0,59	21	110	2,3
			100	5 000	ПЭ	0,38—0,41	110		1,0
			220	10 000	ПЭ	0,27—0,29	440		0,5
		Переменный	100	850	ПБД	0,86—0,9	—		6,5/3
			127	1 100	ПБД	0,74—0,77	—	650/300	5/2,3
			220	1 900	ПБД	0,57—0,59	—		3/1,4
	Отключение от защиты	Постоянный	24	1 000	ПБД	0,51—0,55	9,5		2,5
			36	1 500	ПБД	0,44—0,47	21,4		1,7
			48	2 000	ПБД	0,38—0,41	38	60	1,25
			110	4 500	ПЭ	0,23—0,25	105		0,55
			220	9 000	ПЭ	0,16—0,17	780		0,28
		Переменный	100	1 500	ПБД	0,5—0,64	—		2,1/0,8
			127	1 900	ПБД	0,51—0,55	—	215/80	1,7/0,6
			220	3 300	ПБД	0,38—0,41	—		1/0,35
ППМ-10 ШПО ШПК	Отключение и включение	Постоянный	24	415	ПЭН	0,44	4,8	120	5
			48	725	ПЭН	0,2	19	120	2,52
			110	1 600	ПЭН	0,2	81,5	138	1,52
			220	3 220	ПЭН	0,15	311	154	0,7
ПМ-10	То же	Переменный	100	—	—	—	18	313/130	3,13/1,3
			127	—	—	—	18	460/210	3,64/1,66
			220	—	—	—	59,5	385/175	1,7/0,8
			380	—	—	—	210	405/205	1,06/0,55
ШПО, ШПК	То же	То же	110—127	1 100	ПЭН	0,36	18	341/440	3,1—3,45
			220	1 885	ПЭН	0,29	51	473/—	2,15/—
			380	3 500	ПЭН	0,2	210	312/—	0,82/—

Таблица 9-17

Отключающие электромагниты ручных приводов с автоматическим управлением

Тип привода	Род тока	$U_н$, в	Число витков	Провод		Вес, кг	r, ом	$I_н$, а	Потребляемая мощность, ва
				Марка	Диаметр, мм				
РБА, ПРБА	Постоянный	12	430	ПЭЛ	0,64/0,69	0,13	2,4	5	60
		24	415		0,44/0,485	0,058	4,8	5,0	120
		48	725		0,29/0,325	0,043	19,0	2,52	122
		110	1 600		0,2/0,225	0,044	87,5	1,25	138
		220	3 200		0,15/0,17	0,05	311	0,7	154
	Переменный	110—127	1 100	ПЭЛ	0,38/0,42	0,12	18	3,1/1,8÷÷3,45/2,1	341/÷440/266
		220	1 700		0,29/0,325	0,1	51	2,15/1,4	198 473/308
					0,2/0,225	0,1	210	0,85/0,48	312/182
ППР-21	Постоянный	24	1 100	ПЭЛ	1/1,07	1,3	3,7	6,5	155
		48	1 190		0,69/0,74	0,7	7,45	6,45	310
		110	2 720		0,44/0,475	0,6	38,9	2,8	308
		220	5 500		0,31/0,35	0,5	165	1,33	290
	Переменный	127	900	ПЭЛ	0,69/0,74	0,45	5,3	—	—
		220	1 500		0,64/0,69	0,7	9,5	—	—

Продолжение табл. 9-17

Тип привода	Род тока	$U_н$, *в*	Число витков	Провод: Марка	Провод: Диаметр, *мм*	Вес, *кг*	*r*, *ом*	$I_н$, *а*	Потребляемая мощность, *ва*
ПРА, ПРАМ РБА, ПРБА ППР-21, УГП-II КАМ-УПГП	Переменный с питанием от ТКБ	—	350	ПБД	1,35/1,62	0,69	0,557	3,5	40
ПРА-12	Постоянный	24	870	ПЭЛ	0,8/0,86	—	3,7	—	160
		48	1 070	ПЭЛ	2×0,38/0,42	—	9,9	—	230
		110	1 920	ПЭЛ	0,35/0,39	—	38	—	320
		220	3 820	ПЭЛ	0,25/0,275	—	147	—	330
	Переменный	127	1 080	ПЭЛ	2×0,41/0,45	—	8,6	—	600
		220	3 000	ПЭЛ	2×0,2/0,25	—	105	—	600

Таблица 9-18

Обмоточные данные мгновенных реле тока типа РТМ

Тип привода	$I_{ср}$, *а*	Число витков	Провод: Марка	Провод: Диаметр, *мм*	Провод: Вес, *кг*	*r*, *ом*
РБА, ПРБА	5	270				0,27
	7	193				0,174
	9	150 (отпайки)	ПБД	1,81/2,08	0,9	0,127
	11	123				0,105
	13	104				0,088
	15	90				0,027
	5	270				0,27
	6	225				0,212
	7	103 (отпайки)				0,174
	8	168	ПБД	1,81/2,08	0,9	0,146
	9	150				0,127
	10	135				0,1
ПРА, ПРАМ ППР-21, ПРБА	5	270				0,245
	7	193				0,174
	8	169 (отпайки)	ПБД	1,81/2,08	1	0,152
	10	135				0,122
	12,5	108				0,098
	15	90				0,081
УПГП с 1959 г.	5	260	ПБД	1,81/2,08	0,9	—
	10	180				
	15	68				
Блокирующее реле ШПО	7,5	300	ПБО	1,81/2,08		0,3
Максимальное реле ШПК	5	270	ПБО	1,81/2,08	—	0,245

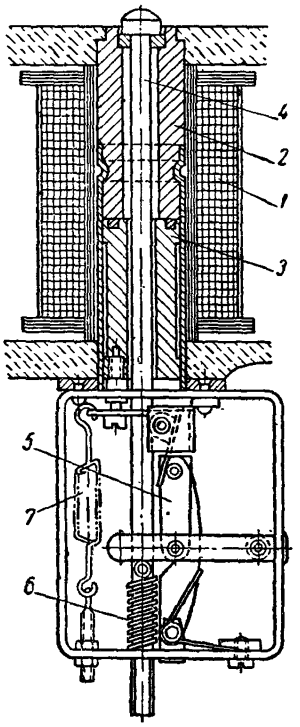


Рис. 9-10. Мгновенное реле минимального напряжения.

1 — катушка; *2* — стоп; *3* — сердечник; *4* — боек; *5* — система ломающихся рычагов; *6* — пружина бойка; *7* — пружина сердечника.

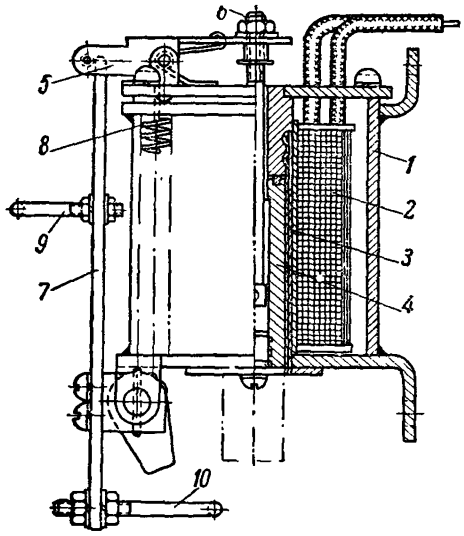


Рис. 9-11. Реле минимального напряжения привода ПМ-10.

1 — корпус; *2* — катушка; *3* — магнитный шунт; *4* — сердечник; *5* — собачка; *6* — шток; *7* — отключающая планка; *8* — пружина; *9*, *10* — скоба.

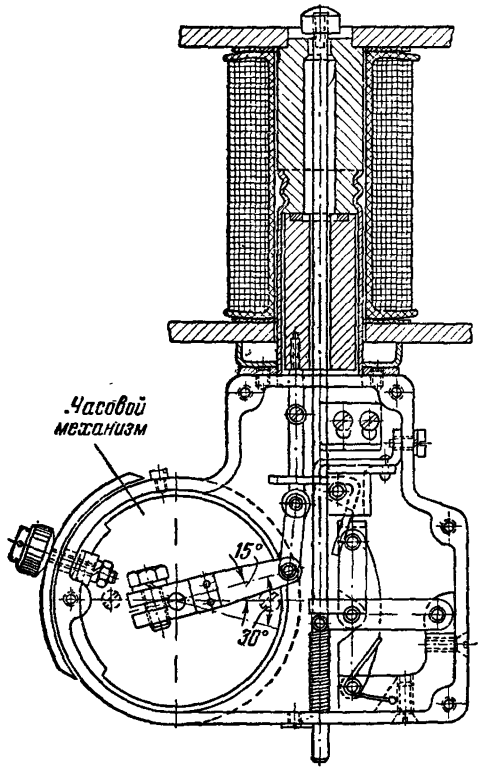


Рис. 9-12. Реле минимального напряжения с выдержкой времени типа РНВ.

Таблица 9-19

Обмоточные данные реле минимального напряжения

Тип приводов	Тип реле	$U_н$, *в*	Провод		Число витков	*r*, *ом*	Вес, *кг*	Потребление, *ва*	$U_{ср}$, %	Допускает включение при напряжении, %	Выдержка времени, *сек*
			Марка	Диаметр, *мм*							
КАМ ПРБА ПРА ПМ-10	РН	110 127 220 380 500	ПЭЛ	0,38 0,29 0,2 0,2	3 000 6 000 10 800 14 300	53 190 715 1 000	0,4 0,47 0,47 0,57	30	65—35	65—85	0
ПРБА ПГ-10 ПГМ-10	РНВ	100	ПЭЛ	0,44	2 720	39±3	—	30	65—30	65—85	0—5
УПГП (с 1959 г.)	РН	110—127 220	ПЭЛ	0,38—0,41 0,29—0,31	3 000 6 000	53 190	0,4 0,47	30	65—30	65—85	0

РАЗДЕЛ ДЕСЯТЫЙ

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

10-1. ОБОЗНАЧЕНИЯ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЙ, СИСТЕМ, ТИПОВ И УСЛОВИЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Таблица 10-1

Обозначения единиц измерения на приборах

Измеряемая величина	Обозначение	Измеряемая величина	Обозначение
Килоампер	kA	Милливатт	mW
Ампер	A	Мегавар	MVAR
Миллиампер	mA	Киловар	kVAR
Микроампер	μA	Вар	VAR
Киловольт	kV	Мегагерц	MHz
Вольт	V	Килогерц	kHz
Милливольт	mV	Герц	Hz
Микровольт	μV	Мегом	MΩ
Мегаватт	MW	Килоом	kΩ
Киловатт	kW	Ом	Ω
Ватт	W		

10-2. ПОГРЕШНОСТИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Все электроизмерительные приборы имеют основную и дополнительные погрешности, величина которых определяется выполнением прибора и условиями его работы. В общем случае погрешность есть разница между величиной, измеренной прибором, и ее действительным значением.

Различают погрешности: абсолютную, относительную, приведенную, осиовную и дополнительные.

Абсолютная погрешность $F_{абс}$ есть разность между показанием прибора N и действительным значением измеряемой величины $N_д$:

$$F_{абс} = N - N_д. \qquad (10\text{-}1)$$

Абсолютная погрешность выражается в значениях измеряемой величины, может быть положнтельной или отрицательной. Учитывается абсолютная погрешность при особо точных измерениях путем введения поправки. Поправка θ — есть величина, которая должна быть прибавлена алгебраически к показанию прибора для получения действительного значения измеряемой величины. Численно поправка равна абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком,

$$\pm\theta = \mp F_{абс}. \qquad (10\text{-}2)$$

Относительная погрешность $F_{отн}$ есть абсолютная погрешность, выраженная в процентах действительного значения измеряемой величивы:

$$\pm F_{отн} = \frac{N - N_д}{N_д} = \frac{F_{абс}}{N_д} \cdot 100\%. \qquad (10\text{-}3)$$

Относительная погрешность характеризует точность данного измерения в процентах и может учитываться поправочным коэффициентом

$$k_п = \frac{100 - F_{отн}}{100}. \qquad (10\text{-}4)$$

Таблица 10-2

Знаки для обозначения системы прибора

Система прибора	Противодействующая сила	Экран	Вид знака
Магнитоэлектрнческая (М)	С механической противодействующей силой	Без экрана	
		С магнитным экраном	
	Без механической противодействующей силы	Без экрана	
		С магнитным экраном	
Электромагнитная (Э)	С механической противодействующей силой	Без экрана	
		С магнитным экраном	
	Без механической противодействующей силы	Без экрана	
		С магнитным экраном	
Электродинамическая (Д) без железа	С противодействующей механнческой силой	Без экрана	
		С магнитным экраном	
	Без механической противодействующей силы	Без экрана	
		С магнитным экраном	
Ферродинамнческая (Ф)	С механической противодействующей силой	Без экрана	
		С магнитным экраном	

Продолжение табл. 10-2

Система прибора	Противодействующая сила	Экран	Вид знака
Ферродинамическая (Ф)	Без механической противодействующей силы	Без экрана	
		С магнитным экраном	
Индукционная (Н)	С механической противодействующей силой	Без экрана	
	Без механической противодействующей силы	С магнитным экраном	
Термоэлектрическая (Т)	С контактным термопреобразователем	Без экрана	
		С магнитным экраном	
	С изолированным термопреобразователем	Без экрана	
		С магнитным экраном	
Вибрационная			
Тепловая			
Детекторная		Без экрана	
		С магнитным экраном	
Электронная		Без экрана	
		С магнитным экраном	

Продолжение табл. 10-2

Система прибора	Противодействующая сила	Экран	Вид знака
Фотоэлектрическая		Без экрана	
		С магнитным экраном	
Электролитическая			
Электростатическая			

Таблица 10-3

Разные условные знаки, наносимые на шкале прибора

Содержание знака				Вид знака
Род измеряемого или потребляемого тока	Постоянный			
	Переменный частотой 50 *гц*	Однофазный		
		Трехфазный	Равномерная нагрузка	
			Неравномерная нагрузка	
			Четырехпроводная сеть	
	Постоянный и переменный			
Установка прибора	вертикальная			
	горизонтальная			
	наклонная			
Класс точности				
Испытательное напряжение				

Продолжение табл. 10-3

Содержание знака	Вид знака
Положение прибора относительно земного меридиана	
Переменный однофазный ток с частотой, не равной 50 *гц*	
Группа эксплуатации	
Категория защищенности от внешних магнитных полей	
Категория защищенности от внешних электростатических полей	

Приведенная погрешность есть абсолютная погрешность измерения, произведенного в пределах рабочей шкалы, выраженная в процентах верхнего предела измерений (номинального значения).

Рабочей частью шкалы для приборов с равномерной шкалой считается вся шкала, для приборов с неравномерной шкалой — часть шкалы, обозначенная условными знаками.

Для приборов с двусторонней шкалой приведенная погрешность обычно выражается в процентах суммы пределов измерения. Если обозначить верхний предел измерений $N_{ном}$, приведенную погрешность $F_{прив}$, то для приборов с односторонней шкалой

$$F_{прив} = \frac{N - N_д}{N_{ном}} \cdot 100 = \frac{F_{абс}}{N_{ном}} \cdot 100\%. \qquad (10\text{-}5)$$

Для приборов с двусторонней шкалой,

$$F_{прив} = \frac{N - N_д}{N_{1ном} + N_{2ном}} \cdot 100 = \frac{F_{абс}}{N_{1ном} + N_{2ном}} \cdot 100\%. \qquad (10\text{-}6)$$

Для приборов с безнулевой шкалой

$$F_{прив} = \frac{N - N_д}{\frac{N_{вер} + N_{ниж}}{2}} \cdot 100 = \frac{F_{абс}}{\frac{N_{вер} + N_{ниж}}{2}} \cdot 100\%, \qquad (10\text{-}7)$$

Таблица 10-4

Классы точности и допустимые погрешности амперметров и вольтметров по ГОСТ 8711-58

Допустимые погрешности, % верхнего предела измерений	Классы точности						
	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0
Основная погрешность	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
Вариации показаний	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0
Вариации показаний для устойчивых к механическим воздействиям, самопишущих чернилами приборов класса 0,1 переменного тока, приборов электромагнитной и ферродинамической систем при проверке на постоянном токе, для малогабаритных с диаметром корпуса до 80 *мм*	0,15	0,3	0,75	1,5	2,25	3,75	6,0
Невозвращение на нуль равно $\frac{kl}{100}$ *мм*, где k — численное обозначение класса, l — длина шкалы, *мм*, для обыкновенных магнитоэлектрических приборов (кроме малогабаритных до 90 *мм* самопишущих чернилами с углом шкалы более 120°)	0,05	0,1	0,25	0,5	0,75	1,25	2,0
Изменение показаний от изменений температуры на каждые 10° С от нормальной для групп:							
А — в пределах +10÷+35° С и относительной влажности до 80%	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±3
Б — в пределах —20÷+50° С и относительной влажности до 80%	±0,1	±0,15	±0,4	±0,8	±1,2	±2,0	±2,5
В — в пределах —40÷+60° С и относительной влажности до 98%	+0,1	+0,15	+0,3	+0,5	+0,8	+1,2	+2,0
Изменение показаний при изменении частоты на ±10% номинальной или любой частоты, лежащей в области номинальных частот	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
То же для расширенной области частот	±0,2	±0,4	±1,0	±2,0	±3,0	±5,0	±8,0
Изменение показаний, вызванное внешним магнитным полем напряженностью 400 *ав/м*, образованным током той же частоты (в пределах 10—1 000 *гц*) для категорий:							
I	±0,5	±0,5	±0,5	±1,0	±1,0	±2,5	±2,5
II	±1,0	±1,0	±1,0	±2,5	±2,5	±4,0	±4,0
Изменение показаний щитовых приборов от влияния стального щита или рядом расположенного прибора для категорий:							
I	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
II	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0
Изменение показаний при наклоне прибора в любом направлении на угол:							
а) со световым указателем, самопишущего чернилами — на 5°	±1,0	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
б) обыкновенного по механической устойчивости — на 10°	—	—	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
в) устойчивого к механическим воздействиям:							
щитового — на 45°	—	—	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
переносного — на 30°	—	—	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0

Примечания: 1. Для приборов с двусторонней шкалой основная погрешность выражается в процентах суммы пределов измерений; для приборов с безнулевой шкалой, включая вольтметры номинального значения, — в процентах разности конечного и начального значений рабочей части шкалы; для перегрузочных амперметров в пределах рабочей части шкалы — в процентах предела измерений рабочей части шкалы. Погрешность прибора, включенного с калиброванным шунтом или добавочным сопротивлением, может достигать суммы допустимых погрешностей прибора и вспомогательной части; при этом класс шунта или добавочного сопротивления должен быть на ступень выше класса прибора.

2. Невозвращение на нуль для приборов с двусторонней шкалой определяется в процентах наибольшего из конечных значений шкалы.

3. Для приборов группы Т (тропические) изменения показаний на каждые 10° С изменения температуры должна соответствовать группе Б, но в пределах, указанных в технических условиях.

4. При определении влияния внешнего магнитного поля при частоте свыше 1 000 *гц* произведение частоты в герцах на напряженность поля в эрстедах должно быть равно 5 000.

5. Требования о допустимых изменениях показаний от наклона прибора не распространяются на приборы, снабженные уровнем.

Для расширения пределов измерения приборов применяются шунты, добавочные сопротивления и измерительные трансформаторы. Классы точности и допустимые погрешности их приведены в табл. 10-9—10-12.

При применении шунтов, сопротивлений и трансформаторов необходимо учитывать два основных условия:

а) класс точности шунта, сопротивления или трансформатора должен быть на ступень выше класса точности прибора.

б) погрешности измерения могут достигать суммы погрешностей прибора и вспомогательной части — шунта, сопротивления или трансформатора.

Таблица 10-5

Классы точности и допустимые погрешности ваттметров (по ГОСТ 8476-57)

Допустимые погрешности, % верхнего предела измерений	Классы точности						
	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	4
Основная погрешность	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4
Изменение показаний при изменении температуры на каждые 10° С от нормальной (+ 20 ± 5° С) и относительной влажности до 80% для групп А и Б и 98% для группы В, для групп:							
А — в пределах +10÷+35° С	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
Б — в пределах —20÷+40° С	±0,1	±0,15	±0,4	±0,8	±1,2	±2,0	±3,0
В — в пределах —40÷+60° С	±0,1	±0,15	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0
Изменение показаний при изменении частоты на ±10% номинальной или любой: в области номинальных частот	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
для расширенной области частот	±0,2	±0,4	±1,0	±2,0	±3,0	±5,0	±8,0
Изменение показаний при изменении напряжения на ±20% (при неизменной мощности)	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
Изменение показаний при изменении $\cos\varphi_{ном}$ до $\cos\varphi_{ном}/2$ при одновременном изменении тока от 0,5 $I_{ном}$ до $I_{ном}$ при нормальных напряжении и частоте, индуктивной и емкостной нагрузках	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
Изменение показаний под влиянием внешнего магнитного поля 5 *э*, образованного током той же частоты, который проходит по прибору в худшем случае, для категорий защищенности:							
I	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
II	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0
III	±2,5	±2,5	±2,5	±2,5	±2,5	±2,5	±2,5
Изменение показаний щитовых ваттметров от влияния стального щита, толщиной до 3 *мм*, на котором установлен прибор для категорий защищенности:							
I и II	—	—	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
III	—	—	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0
Изменение показаний при наклоне на угол для приборов: на растяжках, со световым указателем и самопишущих (чернилами) — на 5°	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
обыкновенных по механической устойчивости — на 10°; устойчивых к механическим воздействиям и транспортных:							
переносных — на 30°							
щитовых — 45°							
Вариация показаний	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0
Вариация показаний для устойчивых к механическим воздействиям и самопишущим чернилами	0,2	0,4	1,0	2,0	3,0	5,0	8,0
Невозвращение нуля	0,05	0,1	0,25	0,5	0,75	1,25	2,0
Вариация показаний для устойчивых к механическим воздействиям, самопишущих чернилами и на растяжках	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0
Отклонение указателя от нуля при $\cos\varphi = 0$ (для реактивных при $\sin\varphi = 0$) и номинальных токах и напряжениях	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
Отклонение указателя от нуля, вызванное самоходом от номинального напряжения или тока	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
Отклонение указателя от нуля, вызванное паразитным взаимодействием номинального тока любого элемента и номинальных напряжений в параллельных цепях остальных элементов	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
Изменение показаний многоэлементных ваттметров, вызванных заменой равномерной нагрузки на неравномерную той же величины при отклонении указателя на середину шкалы и выключении тока в одном элементе с одновременным увеличением тока в других элементах при номинальном напряжении, частоте и $\cos\varphi$	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
Изменение показаний щитовых трехфазных ваттметров, вызванное изменением порядка следования фаз	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0

Примечания: 1. Для приборов с двусторонней шкалой основная погрешность выражается в процентах суммы пределов измерений, для приборов с безнулевой шкалой — в процентах разности верхнего и нижнего пределов измерений.

2. Для ваттметров с двусторонней шкалой измерения показаний от изменения температуры вычисляется в процентах наибольшего предела измерений.

Для приборов группы Т (тропических) изменения показаний на каждые 10° С должны соответствовать группе Б, но в пределах температуры и влажности, оговоренных в технических условиях.

3. Для однофазных реактивных ваттметров изменение показаний от изменения частоты относится к изменению частоты на ±5%.

Продолжение таблицы 10-5

4. Для определения изменений показаний от влияния внешнего магнитного поля переменного тока с частотой свыше 1 000 *гц* произведение частоты в герцах на напряженность поля в эрстедах должно быть равно 5 000.

5. Вариация показаний не должна превышать основной погрешности для обычных приборов и удвоенной основной погрешности — для приборов, устойчивых к механическим воздействиям и самопишущих чернилами.

Таблица 10-6

Классы точности и допустимые погрешности частотомеров (по ГОСТ 7590-55)

Допустимые погрешности	Класс точности							
	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5
Основная погрешность на всех отметках рабочей части шкалы	±0,02	±0,05	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5
Изменение показаний при изменении температуры от нормальной (+20+5° С) на каждые 10° С (при относительной влажности воздуха для групп А и Б не более 80%, для группы В — не более 98%) для групп:								
А — в пределах +10÷+35° С	±0,02	±0,05	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5
Б — в пределах —20÷+50°С	±0,02	±0,05	±0,08	±0,15	±0,4	±0,8	±1,2	±2,0
В — в пределах —40÷+60° С	±0,02	±0,05	±0,08	±0,1	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2
Изменение показаний при изменении напряжения измеряемой частоты на ±10% номинального	±0,02	±0,05	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5
Изменение показаний под влиянием внешнего магнитного поля 5 *э*, образованного током той же частоты, и, кроме того, под влиянием постоянного поля 5 *э* (для детекторных, камертонных, электронных):								
категории I	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
категории II	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1.0	±1.0	±1,0	±1,0
Изменение показаний под влиянием помещенного рядом вплотную такого же прибора:								
категории I	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
категории II	±1,0	±1,0	±1,0	±1.0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0
Изменение показаний от влияния стального щита толщиной до 3 *мм*, на котором установлен прибор:								
категории I	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
категории II	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0
Изменение показаний при наклоне на 10° для обычных приборов, для самопишущих — на 2°, со световым указателем — на 5°, для устойчивых к механическим воздействиям и транспортным, переносных —30° для щитовых —45°	±0,02	±0,05	±0,1	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5

Примечания: 1. Погрешности вычисляются: для стрелочных частотомеров — в процентах верхнего предела измерений, для вибрационных — в процентах данного показания.

2. Вариации показаний частотомеров стрелочных, устойчивых к механическим воздействиям, самопишущих (чернилами) и малогабаритных (с корпусом диаметром 90 *мм* и менее) не должны превышать двойного значения допустимой основной погрешности. Вариации показаний прочих частотомеров не должны превышать значения основной погрешности. Невозвращение указателя к отметке механического нуля (для частотомеров с механическим противодействующим моментом) не должно превышать расстояния по шкале, соответствующего половине допускаемой вариации.

3. Наименьшая рабочая температура для самопишущих (чернилами) частотомеров групп Б и В установлена 0° С.

4. Время успокоения стрелочного прибора не должно превышать 4 *сек*, а для приборов со стрелкой длиннее 150 *мм* — 6 *сек*.

Таблица 10-7

Классы точности и допустимые погрешности фазометров (по ГОСТ 8039-56)

Допустимые погрешности, % длины шкалы	Класс точности				
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5
Основная погрешность на всех отметках шкалы	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5
Изменение показаний при изменении температуры от нормальной ± 20 ± 5° С (или обозначенной на приборе) на каждые 10° С (при относительной влажности воздуха для групп А и Б — не более 80%, для группы В — не более 98%, для группы Т (тропические приборы) — по специальным техническим условиям) для групп:					
А — в пределах +10÷+35° С	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5
Б и Т — в пределах —20÷+50° С	±0,15	±0,4	±0,8	±1,2	±2,0
В — в пределах —40÷+60° С	±0,1	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

Продолжение табл. 10-7

Допустимые погрешности, % длины шкалы	Класс точности				
	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5
Изменение показаний при изменении частоты: для трехфазных на ±10% и для однофазных и комбинированных на ±2% номинальной или любой в пределах номинальной области частот	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5
То же для расширенной области частот	±0,4	±1,0	±2,0	±3,0	±5,0
Изменение показаний при изменении напряжения на ±10% номинального или любого в номинальной области	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5
Изменение показаний при изменении напряжения питания на ±10% номинального для электронных фазометров	±0,1	±0,25	±0,5	±0,75	±1,25
Изменение показаний под влиянием внешнего магнитного поля 5 *э*, образованного током той же частоты (в пределах 10—1 000 *гц*), и, кроме того, под влиянием постоянного поля 5 *э* для электронных и детекторных:					
категории I	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
категории II	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0
категории III	±2,5	±2,5	±2,5	±2,5	±2,5
Для частоты свыше 1 000 *гц* напряженность поля выбирается так, чтобы произведение напряженности поля в эрстедах на частоту в герцах равнялось 5 000					
Изменение показаний от влияния стального щита толщиной до 3 *мм*, на котором установлен прибор:					
категорий I и II	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
категории III	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0
Изменение показаний при наклоне на 10° для самопишущих (чернилами) и со световым указателем на 5°, для устойчивых к механическим воздействиям и транспортным переносным—на 30°, для щитовых—на 45°	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5
Изменение показаний трехфазных фазометров от асимметрии трехфазной сети	По техническим условиям				

Примечания: 1. Все погрешности исчисляются в процентах длины шкалы; для шкалы с углом более 180° погрешность вычисляется для длины шкалы, соответствующей 180°.

2. Вариации показаний фазометров, устойчивых к механическим воздействиям и самопишущих (чернилами), не должны превышать двойного абсолютного значения основной погрешности. Для прочих фазометров вариации показаний не должны превышать абсолютного значения основной погрешности. Невозвращение указателя к отметке механического нуля (для фазометров с механическим противодействующим моментом) не должно превышать расстояния по шкале, соответствующего половине основной допускаемой вариации.

3. Наименьшая рабочая температура для самопишущих (чернилами) фазометров групп Б и В устанавливается 0° С.

4. Время успокоения фазометра не должно превышать 4 *сек*, а для приборов на растяжках или со стрелкой длиннее 150 *мм* — 6 *сек*.

Таблица 10-8

Классы точности и допустимые погрешности омметров (по ГОСТ 8038-56)

Допустимые погрешности, % длины рабочей части шкалы	Класс точности					
	0,2	0,5	1	1,5	2,5	4,0
Основная погрешность на всех отметках рабочей части шкалы (для отдельных типов погрешность может быть дополнительно выражена в процентах данного показания)	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,7	±4,0
Изменение показаний при изменении температуры от нормальной +20 ±5° С (или от обозначенной на приборе) на каждые 10° (относительная влажность воздуха при этом не более 80% для групп А и Б и не более 98% для группы В), для групп:						
А — в пределах +10÷ +35° С Б — в пределах —20+50° С В — в пределах —40÷ +60° С Т — по техническим условиям	±0,1	±0,25	±0,5	±0,75	±1,25	±2,0
Изменение показаний при изменении напряжения питания на ±10% номинального или любого в номинальной области	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0
Изменение показаний под влиянием внешнего магнитного поля 5 *э*, образованного постоянным током, и, кроме того, для омметров с питанием от сети переменного тока под влиянием переменного магнитного поля 5 *э*:						
категории I	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
категории II	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0
категории III	±2,5	±2,5	±2,5	±2,5	±1,5	±2,5

Продолжение табл. 10-8

Допустимые погрешности, % длины рабочей части шкалы	Класс точности					
	0,2	0,5	1	1,5	2,5	4,0
Изменение показаний от влияния стального щита толщиной до 3 *мм*, на котором установлен прибор:						
категорий I и II	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5	±0,5
категории III	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0
Изменение показаний при наклоне на 10° для самопишущих (чернилами) и со световым указателем — на 5°, для устойчивых к механическим воздействиям и транспортным переносным — на 30°, для щитовых — на 45°	±0,2	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0

Примечания: 1. Вариация показаний показывающих омметров — не более абсолютного значения основной погрешности, но не более 2,5% длины рабочей части шкалы, для самопишущих — не более двойного абсолютного значения основной погрешности, но не более 5% длины рабочей части шкалы. Невозвращение указателя к отметке механического нуля (для омметров с механическим противодействующим моментом) не должно превышать расстояния по шкале, соответствующего половине допустимой вариации, а для приборов с углом шкалы более 120° — допустимой вариации.

2. Наименьшая рабочая температура для самопишущих (чернилами) омметров групп Б и В устанавливается 0° С.

3. Для омметров с встроенным генератором изменение показаний при изменении скорости вращения рукоятки на ±20% номинальной не должно превышать половины основной погрешности.

4. Отклонение указателя от отметки „бесконечность" при разомкнутых зажимах, а от отметки „нуль" при замкнутых не должно превышать расстояния по шкале, соответствующего основной погрешности.

5. Для тераомметров с пределом измерений от $1 \cdot 10^{10}$ до $1 \cdot 10^{12}$ *ом* основная погрешность ±10%; с пределами измерений выше $1 \cdot 10^{12}$ *ом* — ±15%.

Дополнительные погрешности не выше погрешностей класса 4,0.

Таблица 10-9

Классы точности и допустимые погрешности калиброванных шунтов (по ГОСТ 8042-56)

Допустимые погрешности	Класс точности			
	0,05	0,1	0,2	0,5
Основная погрешность по сопротивлению, % номинального значения для любых нагрузок, но не выше номинальных, при температуре от +10 до +35° С	±0,05	±0,1	±0,2	±0,5
Изменение сопротивления при изменении температуры окружающего воздуха на каждые 10° С (относительная влажность при этом не более 80% для группы Б и не более 98% для группы В) в пределах:				
группа Б — от —20 до +50° С	±0,025	±0,05	±0,1	±0,1
группа В — от —40 до +60° С				
группа Т — по специальным техническим условиям				
Вариация сопротивлений от термо- э. д. с. при номинальном токе, % номинального значения	0,05	0,1	0,2	0,5
Вариация сопротивлений для шунтов, имеющих два и более токовых зажима с каждой стороны, из-за неравномерного распределения тока, % номинального значения	0,05	0,1	0,2	0,5

Таблица 10-10

Классы точности и допустимые погрешности для калиброванных добавочных сопротивлений (проект ГОСТ)

Допустимые погрешности, % номинального значения	Классы точности				
	0,02	0,05	0,1	0,0	1,0
Основная погрешность	±0,02	±0,05	±0,1	±0,5	±0,5
Изменение показаний при изменении температуры на каждые 10° С в пределах:					
группа А — от +10 до +35° С, влажность до 80%	±0,015	±0,025	±0,05	±0,25	±0,5
группа Б — от —20 до +50° С, влажность до 80%					
группа В — от —40 до +60° С, влажность до 98%					
группа Т — по специальным техническим условиям					

где $N_{вер}$ и $N_{вниж}$ — верхний и нижний пределы измерений по шкале.

Для приборов, погрешность которых вычисляется от длины шкалы,

$$F_{прив} = l_N \frac{N - N_д}{l} \cdot 100 = \frac{l_N F_{абс}}{l} \cdot 100\%, \quad (10\text{-}8)$$

где l — полная длина шкалы, *мм*;

l_N — длина участка шкалы, приходящегося в точке N на единицу измеряемой величины.

Приведенная погрешность положена в основу определения класса точности приборов.

Основная погрешность есть приведенная погрешность, определяемая в нормальных условиях, при которых градуируется прибор, с учетом вариаций.

Вариацией называется разность действительных значений измеряемой величины, соответствующих одной и той же точке шкалы при плавном подводе к ней стрелки (указателя) прибора сначала при увеличении, а затем при уменьшении измеряемой величины.

Дополнительная погрешность прибора вызывается отличием условий измерения от нормальных условий, при которых производилась градуировка прибора.

Абсолютная дополнительная погрешность равна разности между показанием прибора при наличии какого-либо влияния и показанием этого же прибора в нормальных условиях при измерении той же величины.

Дополнительные погрешности всегда приводятся к определенным по ГОСТ интервалам изменения влияющего фактора.

Если обозначить: N — показания прибора в нормальных условиях; $N_{из}$ — показания прибора при наличии какого-либо влияния; $N_{ном}$ — номинальный предел измерения; $\Delta_{нор}$ — регламентированный ГОСТ интервал изменений влияющего фактора; $\Delta_д$ — действительный интервал изменений влияющего фактора, то приведенная дополнительная погрешность

$$F_{доп} = \frac{N_{из} - N}{N_{ном} \frac{\Delta_д}{\Delta_{нор}}}. \quad (10\text{-}9)$$

Приведенная дополнительная погрешность также положена в основу определения класса точности прибора.

10-3. КЛАССЫ ТОЧНОСТИ ПРИБОРОВ

Все электроизмерительные приборы делятся на классы точности. Численное обозначение класса равно наибольшей допустимой приведенной погрешности для нормальных условий, т. е. обозначает основную погрешность прибора.

Одновременно численное обозначение класса определяет и допустимые изменения показаний прибора в процентах при изменении нормальных условий в определенных пределах.

10-4. ИЗМЕРЕНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Показания электроизмерительных приборов разных систем при измерении несинусоидальных величин тока, напряжения и т. д. приведены в табл. 10-13.

В настоящее время не существует быстрого и удобного в условиях эксплуатации релейной защиты способа определения гармоник и сдвига их фаз для оценки погрешности измерения несинусоидальных токов и напряжений обычными приборами.

Поэтому для уменьшения ошибок при настройке релейной защиты рекомендуется выполнение следующих условий:

а) Испытательные устройства должны давать практически синусоидальные ток и напряжение.

б) Если приходится проверять реле при несинусоидальном токе или напряжении, то система измерительного прибора должна соответствовать системе проверяемого реле. Например, при проверке электромагнитного реле, реагирующего на действующие значения всех гармоник, следует применять электромагнитные или электродинамические приборы; при настройке поляризованного реле, реагирующего на среднее значение тока,— применять магнитоэлектрические приборы и т. д.

в) Детекторные и электронные измерительные приборы в цепях с несинусоидальным током или напря-

Таблица 10-11

Классы точности и допустимые погрешности для трансформаторов тока (по ГОСТ 7746-55)

Класс точности	Первичный ток, % номинального	Допустимая погрешность		Нагрузка вторичной обмотки, % номинальной, при $\cos\varphi = 0{,}8$
		по коэффициенту трансформации, %	по углу, *мин*	
0,2	10 20 100—120	±0,50 ±0,35 ±0,20	±20 ±15 ±10	25—100
0,5	10 20 100—120	±1,0 ±0,75 ±0,5	±60 ±50 ±40	25—100
1,0	10 20 100—120	±2,0 ±1,5 ±1,0	±120 ±100 ±80	25—100
3	50—120	±3	Не нормировано	50—100
10	50—120	±10	Не нормировано	50—100

Примечание. Действительная погрешность не должна выходить за пределы ломаной линии, проведенной через точки предельно допустимых погрешностей.

Таблица 10-12

Классы точности и допустимые погрешности для трансформаторов напряжения (ГОСТ 1983-43)

Класс точности	Первичное напряжение, % номинального	Допустимые погрешности		Нагрузка вторичной обмотки, % номинальной, при $\cos\varphi = 0{,}8$
		по коэффициенту трансформации, %	угловая, *мин*	
0,2*	90—110	±0,2	±10	25—100
0,5	90—110	±0,5	±20	25—100
1,0	90—110	±1,0	±40	25—100
3,0	100	±3,0	Не нормировано	25—100

* ГОСТ 1983-43 не распространяется на трансформаторы напряжения класса 0,2; допустимые погрешности для этого класса даны согласно инструкции Комитета стандартов, мер и измерительных приборов № 69-44.

Таблица 10-13

Показания электроизмерительных приборов при измерении несинусоидальных токов

Система и тип прибора	Измеряемая несинусоидальная величина	Уравнение вращающего момента	Показания прибора пропорциональны
Электродинамический или ферродинамический амперметр или вольтметр	Ток или напряжение	$M = k\sum_0^n I^2$ или $M = k(I_0^2 + I_1^2 + \ldots + I_n^2)$ $M = k(U_0^2 + U_1^2 + \ldots U_n^2)$	Сумме квадратов действующих значений всех гармоник и постоянной составляющей независимо от угла сдвига между гармониками
Электродинамический или ферродинамический ваттметр	Ток и напряжение несинусоидальны	$M = k\sum_0^n IU\cos\varphi + I_0U_0$	Сумме мощностей всех гармоник и постоянной составляющей независимо от угла сдвига между гармониками
	Ток несинусоидален, напряжение синусоидально или наоборот	$M = kI_1U_1\cos\varphi_1$	Мощности первой гармоники
Электромагнитный амперметр или вольтметр	Ток или напряжение	$M = k\sum_0^n I^2$ $M = k\sum_0^n U^2$	Сумма квадратов действующих значений тока (напряжения) и постоянной составляющей независимо от сдвига между гармониками
Электростатический вольтметр	Напряжение	$M = k\sum_0^n U^2$	Сумме квадратов действующих значений всех гармоник и постоянной составляющей независимо от сдвига между гармониками
Магнитоэлектрический вольтметр и амперметр	Ток или напряжение	$M = kI_0$; $M = kU_0$	Постоянной составляющей
	Выпрямленный ток (напряжение) при двухполупериодном выпрямлении идеальным вентилем	$M = k\sum_1^n I_{ср}\cos\psi$ $M = k\sum_1^n U_{ср}\cos\psi$	Сумме средних значений всех гармоник и зависят от угла сдвига между гармониками, т. е. от формы кривой
Детекторный с двухполупериодным выпрямителем амперметр или вольтметр	Ток или напряжение	$M = k\sum_1^n I_{ср}\cos\psi$ $M = k\sum_1^n U_{ср}\cos\psi$	Сумме средних значений всех гармоник и зависят от угла между гармониками, т. е. от формы кривой
Термоэлектрический амперметр или вольтметр	Ток или напряжение	$M = k\sum_0^n I^2$ $M = k\sum_0^n U^2$	Сумме действующих значений всех гармоник независимо от угла сдвига между гармониками

Продолжение табл. 10-13

Система и тип прибора	Измеряемая несинусоидальная величина	Уравнение вращающего момента	Показания прибора пропорциональны
Электронный вольтметр с линейной характеристикой и однополупериодным выпрямлением или квадратичный однополупериодный	Напряжение без постоянной составляющей, симметричное относительно оси времени	$M = k\sum_{1}^{2n-1} U_{ср}\cos\psi$	Сумме средних значений основной частоты и всех нечетных гармоник, зависят от фазы гармоник относительно основной и не зависят от фазы измеряемого напряжения относительно зажимов прибора
Электронный вольтметр с квадратичной характеристикой двухполупериодный	Напряжение	$M = k\sum_{1}^{n} U^2$	Сумме действующих значений всех гармоник независимо от их фазы относительно первой и от фазы измеряемого напряжения относительно зажимов прибора
Электронный вольтметр с амплитудной характеристикой	Напряжение	$M = kU_{макс}$	0,707 амплитудного значения любой формы, симметричного относительно оси времени. При несимметричной кривой их показания зависят от фазы измеряемого напряжения относительно зажимов прибора; при синусоидальном напряжении, их показания пропорциональны действующему значению

жением можно применять лишь для измерений, не требующих высокой точности, или для определения максимума и минимума, например настройка фильтров симметричных составляющих на минимум небаланса, измерение токов и напряжений в различных дифференциальных схемах и т. д.

10-5. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Действительные условия измерений электрических величин при настройке релейной защиты обычно значительно отличаются от так называемых нормальных условий, при которых градуируются электроизмерительные приборы. Поэтому в действительных условиях погрешность измерения возрастает за счет влияния на показания приборов различных факторов. В общем виде погрешность измерения может достигать суммы погрешностей прибора от всех влияющих факторов:

$$F_{из.сум} = F_о + F_т + F_ч + F_{м.п} + F_п + F_у + F_ф + F_н + F_{т.т} + F_{т.н}, \quad (10\text{-}10)$$

где $F_{из.сум}$ — суммарная погрешность измерения;
$F_о$ — основная погрешность прибора;
$F_т$ — дополнительная погрешность от изменения температуры окружающего воздуха;
$F_ч$ — дополнительная погрешность от изменения частоты;
$F_{м.п}$ — дополнительная погрешность от влияния внешнего магнитного поля;
$F_п$ — дополнительная погрешность от влияния однотипного прибора, помещенного рядом;
$F_у$ — дополнительная погрешность от наклона прибора от его нормального положения;
$F_ф$ — дополнительная погрешность от искаженной формы кривой измеряемого тока или напряжения;
$F_н$ — дополнительная погрешность от изменения напряжения;
$F_{т.т}$, $F_{т.н}$ — погрешности трансформаторов тока и напряжения.

В действительных условиях маловероятно совпадение всех неблагоприятно влияющих факторов и одинакового знака всех погрешностей. Поэтому действительную погрешность измерения более правильно оценивать по уравнению

$$F_{из.д} = \sqrt{F_о^2+F_т^2+F_ч^2+F_{м.п}^2+F_п^2+F_у^2+F_ф^2+F_н^2+F_{т.т}+F_{т.н}}. \quad (10\text{-}11)$$

Для того чтобы погрешность измерений довести до допустимой величины, следует выполнять следующие основные условия:

а) Выбирать систему прибора, соответствующую системе проверяемого реле (при измерениях несинусоидальных величин).

б) Подбирать пределы измерений приборов так, чтобы показания их составляли не менее 70—80% всей шкалы.

в) Применять приборы группы, соответствующей температуре окружающего воздуха.

г) Прямой и обратный провода с большими токами свивать вместе в виде шнура.

д) Приборы размещать возможно дальше друг от друга и от испытательных устройств. Особенно важно это условие, если испытательное устройство содержит трансформаторы, реостаты и потенциометры со спи-

ральной намоткой и другие детали, создающие сильные магнитные поля.

Желательно испытательные устройства выполнять в стальном кожухе, создающем некоторую защиту измерительных приборов от магнитных полей испытательного устройства.

е) Правильно устанавливать приборы, не допуская их наклона.

ж) При применении измерительных трансформаторов тока выбирать их номинальный первичный ток так, чтобы измеряемый ток составлял не менее 70—80% номинального.

Тщательно следить за нагрузкой вторичной обмотки трансформатора тока, не допуская ее перегрузки.

з) При измерениях в цепях напряжения маломощных источников (на выходе фильтров, в радиотехнических схемах и т. д.) применять высокоомные вольтметры. Сопротивление вольтметров переменного тока должно быть не менее 1 000—2 000 *ом* на 1 *в* шкалы. Сопротивление вольтметров для измерений в цепях постоянного тока радиотехнической аппаратуры (приемопередатчики высокочастотных защит) должно быть не менее 10 000—20 000 *ом* на 1 *в*.

и) Сопротивление миллиамперметров для измерений токов на выходе фильтров, в дифференциальных схемах и т. п. должно быть минимально, порядка десятых долей ома, при шкалах — порядка 25—50 *ма*.

к) Во всех случаях измерения малых токов и напряжений включать амперметр и вольтметр так, чтобы собственное потребление прибора вносило минимальные ошибки в измерения.

Рядом погрешностей приборов можно пренебречь. Так, современные мощные энергетические системы настолько точно поддерживают частоту, что погрешностью от изменения частоты практически вполне можно пренебречь, особенно для вольтметров с большими добавочными сопротивлениями и амперметров.

Возможны случаи, когда почему-либо невозможно устранить полностью все дополнительные погрешности, тогда необходимо оценить по (10-11) наиболее вероятную погрешность измерения.

Основная погрешность обычно указана на шкале прибора и численно равна его классу точности.

Погрешность от изменения температуры берется по ГОСТ в соответствии с группой прибора и выражается как

$$F_т = f_т n, \ \%, \qquad (10\text{-}12)$$

где $f_т$ — допустимые изменения показаний прибора при изменении температуры окружающего воздуха на каждые 10° С от нормальной (20±5° С) в пределах рабочей температуры каждой группы;

Основные сведения о при

Наименование прибора	Тип	Пределы измерений	Класс точности	Сопротивление обмоток		
				тока		напряжения
				r, ом	*L, мгн*	*r, ом*
Миллиамперметр	АСТ/6	25/50 *ма*	0,5	1 030/258	1,4/0,35	
То же	АСТ/5	50/100 *ма*	0,5	312/78	0,32/0,08	
» »	АСТ/4	250/500 *ма*	0,5	11,4/2,85	$10 \cdot 10^{-3}/2{,}5 \cdot 10^{-3}$	—
Амперметр	АСТ/3	0,5/1 *а*	0,5	4,44/1,11	$2 \cdot 10^{-3}/0{,}5 \cdot 10^{-3}$	
»	АСТ/2	1/2 *а*	0,5	1,25/0,31	$0{,}5 \cdot 10^{-3}/0{,}13 \cdot 10^{-3}$	
»	АСТ/1	2,5/5 *а*	0,5	0,24/0,06	$0{,}32 \cdot 10^{-3}/0{,}08 \cdot 10^{-3}$	
»	АСТ/7	5/10 *а*	0,5	0,06/0,02	$0{,}1 \cdot 10^{-3}/0{,}03 \cdot 10^{-3}$	
Вольтметр	АМВ/1	7,5/15/30/60 *в*	0,5			25/50/300/600
»	АМВ/2	75/150/300/600 *в*	0,5			1 667/334/20 000/40 000
»	АСТВ	150/300 *в*	0,5			2 500/10 000
Ваттметр	АСТД	5 *а*, 150 *в*	0,5	0,16	0,2	5 000
Частотомер	Д506	45—55 *гц*, 100, 127 и 220 *в*	0,5 0,2		—	Потребление 12 *вт*
Амперметр	ЭП2	1; 2,5; 5; 10; 20 *а*	1,5			Номинальный ток 15 *ма*
Вольтметр	ЭП2	15; 30; 75; 100; 300; 600 *в*	1,5	—	—	
Ампервольт—ваттметр	Д-501	2,5/5 *а*; 150/300 *в*	1,0	1,2/0,3	—	5 000/1 000 Номинальный ток 30 *ма*
Вольтамперметр	Д128	2,5/5/25/50 *а* 30/150/300/450 *в*	1,5	—	—	—
Частотометр	Д126	45—55 *гц* 127/220/380 *в*	+0,3%	—	—	—
Фазометр	ЭЛФ	4×(0—90°) 5—10 *а* 100/220 *в*	1,5	—	—	—

Примечание. Приборы типа АСТ, АСТД, АСТВ, АМВ пригодны для измерений на постоянном и переменном токе, осталь

Таблица 10-14

Действительная точность измерений в реальных условиях

Условия измерения	Погрешность измерения, %
Приборы класса 0,5 (типы АСТ, АМВ, АСТВ) при температуре + 10° С без учета соседнего прибора и при внешнем магнитном поле 1 *э*	1,3
То же при учете соседнего прибора (при проверке дистанционных защит)	2
Приборы класса 1,5 группы Б без учета соседнего прибора при температуре 0° С и магнитном поле 1 *э* . . .	4
То же при температуре — 10° С . .	5,5
Приборы класса 4 (ТТ, Ц и др.) без учета соседнего прибора при температуре + 10° С и внешнем магнитном поле 1 *э*	8
То же при температуре — 10° С . .	10

Таблица 10-15

Классы точности приборов для проверки реле разных типов

Проверяемые реле	Класс точности прибора
Дистанционные реле, омметры	Не ниже 0,5
Токовые реле защит, согласовывающихся друг с другом с запасом 1,1—1,2	Не ниже 0,5—1,0
Токовые реле защит, согласующихся с большим запасом	До 1,5
Второстепенные измерения — напряжения срабатывания реле постоянного тока, характеристик намагничивания трансформаторов тока	До 1,5
Измерения небалансов, настройка фильтров, проверка схем включения трансформаторов тока и напряжения, фазировка трансформаторов напряжения, проверка исправности цепей	До 4

Таблица 10-16

борах переменного тока

Категория защищенности от внешних магнитных полей	Пределы температуры окружающего воздуха, °С	Размеры, *мм*	Вес, *кг*	Завод-изготовитель	Примечание
III	+10÷+35° С (группа А)	192×232×117	2,2	„Точэлектроприбор", г. Киев	Время успокоения 4 *сек*; рабочая часть шкалы 20—100%; рабочее положение горизонтальное
III	То же	192×232×117	2,2	То же	
III	„	192×232×117	2,2	„	
III	„	192×232×117	2,2	„	
III	„	192×232×117	2,2	„	
I	+10÷+35° С (группа А)	240×325×200	9	„	Рабочая часть шкалы 100%; рабочее положение горизонтальное; время успокоения 4 *сек*
I III	—20÷+50° С (группа Б)	165×165×110	1,3	ЗИП, г. Краснодар	Рабочая часть шкалы 20—100%; время успокоения 4 *сек*; рабочее положение горизонтальное
II	+10÷+35° С (группа А)	240×325×180	7	„Точэлектроприбор", г. Киев	
II I	—40÷+60° С (группа В)	286×215×132	5	„Вибратор", г. Ленинград	Время успокоения 3 *сек*; рабочее положение горизонтальное; рабочая часть шкалы 20—100%
±3 *эл. град* в поле 5 *э*	+10÷+35° С (группа А)	235×320×175	8	„Точэлектроприбор", г. Киев	Время успокоения 4 *сек*; рабочее положение горизонтальное; рабочая часть шкалы 0—100%

ные — только для переменного тока.

n — число перепадов по 10° С в пределах допустимой рабочей температуры группы, к которой относится данный прибор.

Для определения напряженности внешнего магнитного поля можно пользоваться приближенным выражением

$$H = \frac{I}{2\pi L},\ а/м, \quad \text{или} \quad H = \frac{I}{2\pi L \cdot 79{,}6},\ э, \quad (10\text{-}13)$$

где H — напряженность поля;
I — ток, $а$;
L — расстояние от центра провода до точки, в которой определяется H, $м$.

Это выражение дает величину напряженности поля в точке, находящейся на расстоянии L от прямолинейного провода, по которому проходит ток I. Выражение справедливо, если длина провода значительно больше расстояния L.

Например, напряженность поля на расстоянии 0,1 $м$ от провода, по которому проходит ток 50 $а$, равна 1 $э$.

Если провод кольцеобразной формы, диаметром D $см$, с числом витков w и по нему проходит ток I, то в центре кольца напряженность поля H определяется выражением

$$H = \frac{1{,}256 wI}{D},\ э. \quad (10\text{-}14)$$

В (10-11) величина $F_{м.п}$ подставляется в виде

$$F_{м.п} = f_{м.п}\frac{H}{5},\ \%, \quad (10\text{-}15)$$

где $f_{м.п}$ — допустимое изменение показаний прибора под влиянием внешнего поля 5 $э$, по ГОСТ;
H — действительная напряженность поля в центре измерительной системы прибора, определенная по (10-13) или (10-14).

Величина погрешности от влияния такого же прибора, находящегося под номинальным током (напряжением), берется из соответствующих ГОСТ.

Практически это влияние следует учитывать, например, при настройке дистанционных реле методом амперметра и вольтметра; обычно оба прибора для удобства отсчетов помещаются рядом и находятся под током и напряжением, близкими к номинальным.

Дополнительная погрешность от наклона прибора практически всегда существует, ее значение следует принимать по ГОСТ в зависимости от типа прибора. Для обычных приборов, применяемых для проверки защит, эта величина для подстановки в выражение (10-11) принимается численно равной классу прибора при отклонении на 10°. Угол отклонения больше 10° легко обнаруживается простым осмотром и устраняется соответствующим перемещением прибора, выравниванием основания (стола, пульта) и т. п.

Погрешность от искажения формы кривой тока или напряжения не нормирована; определить ее возможно лишь в лабораторных условиях. Поэтому в (10-11) она не учитывается, а устраняется.

Дополнительную погрешность от изменения напряжения необходимо учитывать для частотомеров, при настройке реле частоты и фазометров, при определении угла сдвига между током и напряжением во время проверки дистанционных реле, реле направления и т. п.

При настройке реле частоты эту погрешность следует устранять путем поддержания постоянного напряжения, контролируя его по вольтметру.

Для фазометров нормирована погрешность при изменении напряжения только на ±10% номинального.

Поэтому при работах с фазометрами испытательные схемы для настройки реле следует строить так, чтобы обеспечивать на фазометрах номинальное напряжение.

При снятии векторных диаграмм фазометром или ваттметром погрешностью от изменения напряжения практически всегда пренебрегают, как и всеми другими погрешностями, так как в этом случае важны лишь относительные результаты измерений, а не абсолютная точность.

Погрешности измерительных трансформаторов берутся по паспорту трансформаторов.

Если производить измерения, выполняя все указанные выше требования, то действительная точность измерения определится по (10-13) подстановкой в него величин всех погрешностей.

Так как все погрешности выражаются в процентах верхнего предела измерений (длины шкалы), а при настройке защиты важна погрешность измерения в процентах измеряемой величины, то (10-11) преобразуется и принимает вид:

$$F_{из.д} = \frac{N_{ном}}{N}\sqrt{F_{о}^2 + (f_{т}n)^2 + \left(f_{м.п}\frac{H}{5}\right)^2 + F_{п}^2 + F_{у}^2 + F_{т.т}^2 + F_{т.н}^2}, \quad (10\text{-}16)$$

дающий погрешность измерения в процентах измеряемой величины.

Действительная точность измерений в реальных условиях проверки релейной защиты и при соблюдении указанных выше требований указана в табл. 10-14.

Очень часто при проверках защиты результат измерения получается как частное от деления результатов двух измерений, например сопротивление срабатывания дистанционного реле, настраиваемого по амперметру и вольтметру, сопротивление намагничивания трансформаторов тока или сопротивления катушек отключения, определяемые методом амперметра и вольтметра, и т. п.

В этом случае действительная точность измерения сопротивления определится выражением

$$F_{из.д} \cong F_{изA} + F_{изV} + \frac{F_{изA}F_{изV}}{100},\ \%, \quad (10\text{-}17)$$

где $F_{изA}$ — погрешность измерения тока;
$F_{изV}$ — погрешность измерения напряжения, определяемые по (10-11) или (10-16).

Подставив в (10-17) значения действительных погрешностей измерения приборами класса 0,5, получим точность измерения сопротивления:

$$F_{из.д} \approx 2 + 2 + \frac{2\cdot 2}{100} \approx 4\%.$$

Если же измерения производились приборами класса 1,5 при температуре — 10° С, то точность измерения сопротивления будет порядка 11%.

Рекомендации по применению измерительных приборов для проверки защиты указаны в табл. 10-15.

Основные сведения о приборах приведены в табл. 10-16—10-21.

Таблица 10-17

Основные сведения о приборах постоянного тока

Наименование прибора	Тип	Пределы измерений	Класс точности	Категория защищенности от внешних магнитных полей	Пределы температуры окружающего воздуха	Размеры, *мм*	Вес, *кг*	Завод-изготовитель	Примечания
Вольтметр	М-45	3/7,5/15/30 *в* 30/75/150/300 *в* 3/15/150/300 *в* 15/150/450 *в* 3/15/150 *в* 150/300/450 *в* 3/30/300 *в* 150/300/600 *в*	1,0	III	—20÷+50° С (группа Б)	130×115×55	0,8	„ЗИП" г. Краснодар	Номинальный ток цепи напряжения 3 *ма*; рабочая часть шкалы 0—100%; рабочее положение горизонтальное; время успокоения 4 *сек*
Амперметр	М-45	0,3/0,75 *а* 1,5/7,5 *а* 15/30 *а* 75 *а* 150 *а* } с наружным шунтом 75РИ, 75 *мв*	1,0	III	То же	130×115×55	—	То же	Шунт 75РИ на 75 *мв*
Вольтамперметр	М-45	75 *мв* 3/15/150 *в* и с шунтом 75РИ 75 *мв* на любые токи	1,0	III	„ „	130×115×55	—	„ „	
Амперметр	М-65	3; 7,5; 15 *а*	2,5	III	„ „	88×60×32	0,6	„ „	Рабочая часть шкалы 100%; рабочее положение—горизонтальное; время успокоения 4 *сек*
Вольтметр	М-65	3/15/150 *в* 3/30/300; 30 *в*	2,5	III	—				
Амперметр	М-55	1,5; 3; 7,5 *а*	2,5	III					
Вольтметр	М-55	3; 7,5; 30; 75; 150 *в* 15/150; 3/300; 15/300 *в*	2,5	III	—40÷+60° С (группа В)	92×60×38,5	0,6	„Омэлектроточприбор", г. Омск	Рабочая часть шкалы 100%; рабочее положение вертикальное и горизонтальное; время успокоения 4 *сек*

Таблица 10-18

Основные сведения об универсальных приборах

Наименование	Тип	Пределы измерений			Класс точности			Падение напряжения в цепи тока	Сопротивление цепи напряжения
		по току	по напряжению	по сопротивлению	для постоянного тока	для переменного тока	для сопротивления		
Вольтомметр	М-491	—	3/30/300/600 *в*	0,02—30 *ком* 0,2—300 *ком* 2—3 000 *ком*	2,5	—	4,0	—	—
Ампервольтомметр	М-493	3/15/60/300/3 000 *ма* постоянного тока	3/30/150/300/600 *в*	0,02—30 *ком* 0,2—300 *ком*	2,5	—	4,0	—	—
Ампервольтметр	Ц-312	0,003/0,015/0,06/0,3/1,5/6 *а* постоянного и переменного тока	1,5/6/60/150/300/600 *в* постоянного и переменного тока и 75 *мв* для постоянного тока		1,5	2,5	—	0,8/1,07/1,13/1,14/1,14/→ →/1,14 *в*	75 *мв*—25 ом; 1,5 *в*—66,7 *ом/в* 6÷600 *в*—333 *ом/в*
Вольтамперомметр	Ц-315	0,0025/0,01/0,025/0,1/0,25/5 *а* переменного и постоянного тока и 0,001 *а* для постоянного тока	2,5/10/25/100/250/500/1 000 *в* постоянного и переменного тока	5/500/5 000 *ком*	1,5	2,5	2,5	На постоянном токе 75—480 *мв*, на переменном 0,8—1,2 *в*	1 000 *ом/в* для постоянного тока; 400 *ом/в* для переменного тока; 100 *ом/в* для 2,5 *в* переменного тока
Ампервольтомметр	Ц-20	300 *мка*/3/30/300/750 *ма* постоянного тока	1,5/6/30/120/600 *в* постоянного тока, 7,5/30/150/600 *в* переменного тока	1/10/100/1 000 *ком*	—	—	—	Не более 0,6 *в*	10 000 *ом/в* для постоянного тока; 2 000 *ом/в* для переменного тока
Ампервольтомметр	Ц-52	3/15/60/300/1 500 *ма* постоянного и переменного тока и 150 *мка* постоянного тока	3/7,5/15/30/150/300/600 *в* постоянного и переменного тока и 75 *мв* постоянного тока	10/100/1 000 *ком*, 10 *Мом*	1,5	2,5	1,5	На постоянном токе не более 0,46 *в*, на переменном токе не более 1,5 *в*	Номинальный ток на постоянном токе 50 *мка*, на переменном токе 3 и 7,5 *в*—1 *ма*, на остальных пределах 5 *ма*
Ампервольтомметр	Ц-52-КС	Как Ц-52 и с трансформатором тока И501 до 6 и 30 *а*, с шунтом Р514 до 6 и 30 *а*	Как Ц-52 и с делителем напряжения Р-515 до 6 *кв* переменного тока, с делителем Р516 до 7,5 *кв* постоянного тока		4—для напряжения, 2—для тока	4—для напряжения, 3, 5—для тока	—	То же	То же
Ампервольтомметр	Ц-51	0,3/3/15/30/150/1 500 *ма*/15 *а* для постоянного и переменного тока, 75 *мка* для постоянного тока, 6 и 30 *а* с трансформатором тока И-501	3/7,5/15/30/75/150/300/6000 *в* постоянного и переменного тока; с делителем Р515 6 *кв* переменного, с делителем Р516 7,5 *кв* постоянного тока	3/300 *ком* 3/30 *Мом*	1,0	1,5 до 1,5 *а* и 300 *в*; 2,5 для других пределов; 4,0 с делителем	1,0	На постоянном токе не более 0,25 *в*, на переменном не более 1,1 *в*	На постоянном токе 50 *мка*; на переменном 0,5 *ма*
Ампервольтомметр	АВО-5МI	3/30/120 *ма*/1,2/12 *а* переменного и постоянного тока, 60/300 *мка* постоянного тока	3/12/30/300/600/1200/600 *в* постоянного и переменного тока	2 *ом*—0,3 *ком*; 0,2—30 *ком*; 0,02—3 *Мом*	4	4	4	На постоянном токе не более 0,27 *в*; на переменном 2/0,8/0,5/0,08/0,08 *в*	На постоянном токе 20 000 *ом/в*, на переменном 2 000 *ом/в*
Вольтамперфазоиндикатор	ВАФ-85	1/5/10 *а* с клещами, 10/50/250 *ма* непосредственно	1/5/25/125/250 *в*	—	—	Для тока и напряжения ±5% ±5° для угла	—	40/10/4,5 *мв* при непосредственном включении; с клещами 0,001 *ом*	2 500 *ом/в*

Продолжение табл. 10-18

Наименование	Тип	Категория защищенности от внешних магнитных полей	Пределы рабочей температуры окружающего воздуха	Размеры, *мм*	Вес, *кг*	Завод-изготовитель	Примечания	Комплектность поставки
Вольтметр	М-491	III	—20÷+50° С (группа Б)	220×143×100	1,7	„Омэлектроточприбор", г. Омск	Время успокоения 4 *сек*; рабочая часть шкалы 0—100% для тока и напряжения; с внутренней батареей из 6 элементов типа БАС-80х; для М 491 — с наружной БАС-80х 80—94 *в*	Без батарей
Ампервольтметр	М-493	III	—20÷+50° С (группа Б)	220×143×100	1,7	„Омэлектроточприбор", г. Омск		
Ампервольтметр	Ц-312	III	—15÷+35° С на постоянном токе, +10÷+35° С на переменном токе (группа А)	185×125×75	1,3	ЗИП г. Краснодар	Рабочая часть шкалы 0—100% для постоянного и 20—100% для переменного тока; время успокоения 4 *сек*	
Вольтамперомметр	Ц-315	—	+10÷+35° С (группа А)	210×130×90	1,6	То же	Рабочая часть шкалы 0—100% для постоянного тока и 20—100% для переменного; время успокоения 4 *сек*; внутренняя батарея из 3 элементов ФБС-0,25—1,5 *в*	Футляр, 2 щупа, 3 элемента ФБС-0,25
Ампервольтметр	Ц-20	III	+10÷+35° С	208×118×75	1,6	„Омэлектроточэлектроприбор", г. Омск	С внутренней батареей из 3 элементов ФБС-0,25 и наружной КБС 4,5 *в*	2 проводника с наконечниками, 2 съемных зажима, 1 батарея КБС 4,5 *в*, 1 батарея ФБС-0,25 1,5 *в*, упаковочная коробка
Ампервольтметр	Ц-52	II	—10÷+40° С	205×110×80	1,3	„Точэлектроприбор", г. Киев	Дополнительные пределы измерений; емкости до 10 *мкф*, затухания —10÷+12 *дб* с основной погрешностью ±2,5%. Для расширенной области частот до 100 *гц* основная погрешность ±5%	Нормальная комплектация: 2 проводника с наконечниками, 1 батарея ФБС-0,25 1,5 *в*, 2 съемных наконечника, 2 съемных зажима, 2 съемных щупа, футляр. Специальная комплектация дополнительно к нормальной комплектации: делители Р515 и Р516, щуп Р514 и трансформатор тока И501
Ампервольтметр	Ц-52-КС	II	—40÷+40° С (группа А)	Делитель 270×⌀55; трансформатор тока 100×80×65; шунт 112×66×24	0,4 0,5 0,2	„Точэлектроприбор", г. Киев		
Ампервольтметр	Ц-51	II	0+40° С	185×265×135	4	„Точэлектроприбор", г. Киев	Для разных пределов измерений область частот колеблется от 45—55 *гц* до 45—10 000 *гц* Основные погрешности в расширенной области частот до 10%	4 элемента КБС-Х-055 или КБС-Л-050, 1 элемент 1КС-У-3, 2 проводника с наконечниками, 2 съемных наконечника, 2 съемных зажима, 2 съемных щупа, по 1 делителю Р515 и Р516, трансформатор тока И501, футляр
Ампервольтметр	АВО-5М1	III	—10÷+50° С	—	—	—	Предел измерения уровня помех —12÷78 *дб* с погрешностью 1,5—4% на разных пределах; температурная погрешность разная для разных видов измерений	2 делителя с проводниками, 2 высоковольтных проводника с наконечниками, 4 соединительных провода 2,5 и 0,75 *мм²* с наконечниками, 2 элемента выпрямители, 1 элемент 2С-Х-6, 1 батарея на 22,5 *в* типа КБС
Вольтамперфазоиндикатор	ВАФ-85	—	—		5	„Энергоприбор" г. Москва	—	

Основные сведе

Тип	Основная погрешность, % измеряемой величины	Рабочая температура, °С	Номинальное число оборотов ручки в минуту	Колебания напряжения при изменении числа оборотов от 90 до 150 % номинального	Категория защищенности от внешних полей	Пределы измерений
М-1101	±1 для измерителя	—25÷+60	120	±20	II	0,5—1 000 *ком* 0,05—100 *Мом*
М-1101	То же	—25÷+60	120	±20	II	0,5—1 000 *ком* 0,2—2 000 *Мом*
МС-06 2 500 *в*	± 10	+5÷+40	120	—	—	0—1 000 *Мом* 0—100 *Мом* 0—10 *Мом*
МОМ-5 1 000 *в*	± 10	+10÷+35	120	—	—	1 — 100 *Мом*
МОМ-5 500 *в*	± 10	+10÷+35	120	—	—	0,1—10 *Мом*

Основные сведения

Наименование	Тип	Назначение	Пределы измерения	Класс точности	Падение напряжения в цепи тока	Ток в обмотке напряжения
Вектормер	Ц-50	Измерение тока и напряжения по величине, измерение угла между двумя напряжениями	По току: 0,003/0,01 0,03/0,1/0,3/1/3/5 *а*; по напряжению; 0,15/0,3/1/3/10/30/100/150/300 *в* по углу 0—360 *эл. град*	Для тока и напряжения 1,5; для угла 1,0	67,5 *мв*	1,35 *ма*
Фазоуказатель	ФУ-2	Определение чередования фаз	30—500 *в*	—	—	Потребление: 4 *ва* при 100 *в*, 100 *ва* при 500 *в*
Электросекундомер	ПВ-52	Измерение времени	0—10 *сек*	±0,03÷0,05 *сек*	—	Потребление: 10 *ва* при 110 *в*, 20 *ва* при 220 *в*
Фазоуказатель универсальный	Э-500	Определение cos φ или угла между током и симметричной трехфазной системой напряжения	0—360 *эл. град*	±5° при токах 50—100% и ±10° при токах 20—50%, номинального	Сопротивление 0,4 *ом*	20 *ма*

Таблица 10-19

ния о мегомметрах

$U_{ном}$, *в*	Размеры, *мм*	Вес, *кг*	Завод-изготовитель	Примечание
500	200×165×130	3,5	„Точэлектроприбор" г. Киев	
1 000	200×165×130	3,5		
2 500 *в* на холостом ходу; 1 100 *в* при нагрузке 1 *Мом*	200×422×224	13,5	„Энергоприбор" г. Москва	Переменная составляющая напряжения на выходе не более 10%
1 000 *в* на холостом ходу; 450 *в* при нагрузке 1 *Мом*	165×275×210	6,8	То же	Переменная составляющая напряжения на выходе не более 15%
500 *в* на холостом ходу; 210 *в* при нагрузке 0,1 *Мом*				

Таблица 10-20

о специальных приборах

Рабочая температура, °С	Категория защищенности от внешних полей	Размеры, *мм*	Вес, *кг*	Завод-изготовитель	Примечания
+10÷+35	III	445×260×175	14 (с футляром)	„Точэлектроприбор" г. Киев	1. Питание устройства для регулировки продолжительности замыкания контактов от сухой батареи на 4,6 *в* 2. По особому заказу поставляется дополнительный измеритель КЛ 0,5, повышающий точность измерения до ±1%, размеры 305×205×120 *мм*, вес 6,5 *кг* 3. Питание встроенного двигателя — от сети 220 *в*, 50 *гц*, потребление 10 *вт*
—25÷+60	—	120×90×50	0,3	То же	1. Активное сопротивление фазы 1 900 *ом* 2. Продолжительность включения: на 50 *в*—10 *сек*, на 500 *в*—5 *сек*
—5÷+40	—	103×125×60	1,2	„Энергоприбор", г. Москва	Номинальное напряжение 110 и 220 *в*
+10÷+35	Погрешность от внешнего поля 5э ±2 *эл. град*	175×265×125	3	„Точэлектроприбор", г. Киев	Номинальное напряжение 110 и 380 *в*

Таблица 10-21

Основные сведения о лабораторных измерительных трансформаторах тока

Тип	Класс точности	Рабочая температура, °С	Коэффициенты трансформации	Вторичная нагрузка, *ом*	Размеры, *мм*	Вес, *кг*	Завод-изготовитель
УТТ-5	0,2	+10÷ +35	$\frac{15/50/100/150/200/300/600}{5}$	0,2	130×125×60	1,5	„Точэлектроприбор", г. Киев
УТТ-6	0,2	+10÷ +35	$\frac{100/150/200/250/300/400/500/600/700/800/1000/1200/1500}{5}$	0,4—0,6	275×265×136	6	То же
И-54	0,2	+10÷ +35	$\frac{0,5—1—2—5—10—20—50}{5}$	0,4	235×185×125	4	То же

РАЗДЕЛ ОДИННАДЦАТЫЙ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ

11-1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

а) Назначение АПВ

Назначение АПВ — быстрое восстановление нормальной схемы сети или подстанции, а в ряде случаев и непосредственно питания потребителей путем автоматического включения выключателей, отключившихся помимо оперативной команды.

Успешность АПВ определяется тем, что большинство повреждений линий электропередач и шин (75—85% случаев) является неустойчивым, и самоустраняется при снятии напряжения. В этих случаях после АПВ по линиям продолжает передаваться мощность и нормальная схема работы сети восстанавливается.

б) Классификация

АПВ классифицируются по следующим основным признакам:

1) по виду оборудования — на АПВ линий, АПВ шин, АПВ трансформаторов, АПВ электродвигателей;

2) по числу включаемых фаз выключателей — на трехфазное АПВ (ТАПВ) и однофазное АПВ (ОАПВ);

3) по кратности действия — на АПВ однократного действия и АПВ многократного действия;

4) по способу проверки синхронизма — на АПВ без проверки синхронизма в условиях, когда нарушение синхронизма исключено, АПВ без проверки синхронизма в условиях, когда допустимо несинхронное АПВ (НАПВ), АПВ без проверки синхронизма при наличии быстродействующих выключателей и релейной защиты (БАПВ), АПВ с ожиданием синхронизма (АПВОС), АПВ с улавливанием синхронизма (АПВУС), АПВ в сочетании с самосинхронизацией генераторов и синхронных компенсаторов (АПВС);

5) по способу воздействия на привод выключателя — на механические АПВ, встроенные в пружинный или грузовой привод, и электрические АПВ, выполненные с помощью релейной схемы.

Электрические АПВ разделяют по способу пуска на схемы, приходящие в действие при срабатывании релейной защиты или возникновении несоответствия положения ключа управления и выключателя.

По способу возврата схем АПВ в исходное положение различают схемы с автоматическим и ручным возвратом (последние не рекомендуются).

По дополнительным условиям пуска особое место занимают устройства АПВ, приходящие в действие после восстановления напряжения или частоты. Первые применяются при АПВ электродвигателей, вторые — при АПВ линии или трансформаторов, отключаемых автоматами частотной разгрузки.

в) Основные требования к АПВ

1. АПВ должно с соответствующими выдержками времени замыкать цепь включения выключателя и автоматически возвращаться в положение готовности к новому действию.

2. Длительность включающего импульса должна быть достаточной для надежного включения выключателя.

3. АПВ не должно приходить в действие при оперативном отключении выключателя и после его оперативного включения на поврежденную линию (при любой оперативной команде, включая телеуправление).

4. Должна быть исключена возможность многократных включений выключателя на устойчивое к. з. (прыгание) при практически возможных неисправностях в устройстве АПВ (неисправность любого одного элемента схемы).

5. В АПВ должна быть предусмотрена возможность осуществления ускорения действия защиты до или после АПВ.

г) Основные положения по применению АПВ линий

1. Устройства АПВ устанавливаются на всех воздушных и воздушно-кабельных линиях с номинальным напряжением выше 1 *кв* и выполняются, как правило, с пуском от **несоответствия** и с автоматическим возвратом.

2. В электрических сетях с малым током замыкания на землю применяется только ТАПВ.

3. В электрических сетях с большим током замыкания на землю в большинстве случаев также применяется ТАПВ, однако в ряде случаев может быть рекомендовано и ОАПВ (см. пп. 7, 8 и 9).

4. На одиночных линиях с односторонним питанием и на головных участках кольцевых сетей, которые часто могут работать в режиме одностороннего питания, при напряжении 35 *кв* и выше рекомендуется применять ТАПВ двукратного действия.

5. На одиночных линиях с односторонним питанием напряжением 110 *кв* и выше, для которых в аварийных случаях возможна работа в неполнофазном режиме, и при наличии выключателей с приемной стороны, рекомендуется применять устройства ОАПВ.

6. На одиночных линиях с односторонним питанием и с мощными синхронными компенсаторами или двигателями на приемной подстанции рекомендуется АПВС.

7. На одиночных линиях без шунтирующих связей с двусторонним питанием должны применяться:

а) БАПВ — на линиях напряжением 110 *кв* и выше при наличии быстродействующих релейной защиты и выключателей;

б) НАПВ — если толчок тока при самом неблагоприятном угле включения не превосходит допустимых для генераторов, синхронных компенсаторов и трансформаторов значений;

в) АПВУС — если отсутствует возможность применения БАПВ или НАПВ;

г) ОАПВ — на линиях с большим током замыкания на землю при возможности длительной работы в неполнофазном режиме в районах повышенной грозовой деятельности, а также при отсутствии возможности применения БАПВ или НАПВ; в ряде случаев (например, в районах интенсивной грозовой деятельности) целесообразно сочетать ОАПВ и трехфазное НАПВ;

д) АПВС — на линиях, связывающих систему и гидростанцию с малым числом агрегатов.

Во всех перечисленных в п. 7 случаях (особенно п. 7,«б») должно быть обеспечено правильное действие релейной защиты в асинхронном и неполнофазном режимах.

8. На линиях с двусторонним питанием при наличии связей, шунтирующих данную линию, следует применять:

а) при наличии четырех и более шунтирующих связей, а также при наличии трех связей, если одновременное длительное отключение двух из этих связей маловероятно,— АПВ без проверки синхронизма;

б) при наличии двух-трех связей и невозможности осуществления НАПВ—АПВ с ожиданием или улавливанием синхронизма;

в) на линиях с номинальным напряжением 220 *кв* и выше при наличии двух связей и условий, указанных в п. 7,«г», допускается применение ОАПВ.

9. АПВ линий после действия автоматов частотной разгрузки (АЧР) должно применяться на подстанциях, не имеющих постоянного дежурства персонала и не оборудованных телеуправлением, а также в энергосистемах, где возможно снижение частоты при к. з.

д) Основные положения по применению АПВ шин, трансформаторов и двигателей

1. АПВ шин применяются, если шины станции (подстанции) оборудованы специальной защитой шин. При этом рекомендуется использовать устройства АПВ линий.

На станциях (подстанциях), через шины которых не осуществляется транзит мощности, допускается выполнять АПВ шин включением одной-двух питающих линий.

На станциях (подстанциях), через шины которых осуществляется транзит мощности, АПВ шин выполняется так, чтобы обеспечить восстановление транзита мощности и питания потребителей подстанции.

2. АПВ трансформаторов применяется на всех одиночных трансформаторах мощностью более 1 000 *ква* и имеющих выключатель, отключение которого приводит к обесточению потребителей. Как правило, действие устройств АПВ блокируется защитами от внутренних повреждений в трансформаторах.

На подстанциях с несколькими раздельно работающими трансформаторами рекомендуется выполнять комбинированное устройство, действующее как АПВ или как АВР в зависимости от режима подстанции и места возникновения к. з.

АПВ трансформаторов после действия устройств АЧР должно применяться в тех же случаях, что и АПВ линий.

3. АПВ электродвигателей применяется в тех случаях, когда для обеспечения самозапуска ответственных электродвигателей часть из них приходится отключать.

11-2. ТАПВ ОДНОКРАТНОГО ДЕЙСТВИЯ ОДИНОЧНЫХ ЛИНИЙ С ОДНОСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

а) ТАПВ с реле РПВ-58 и пуском от несоответствия (ВНИИЭ)

Реле РПВ-58, на основе которого выполнена схема, приведенная на рис. 11-1, содержит реле времени *1В* (*1РВ*), создающее необходимую выдержку времени на срабатывание, промежуточное двухобмоточное реле *1П* (*1РП*), осуществляющее подачу включающего импульса, конденсатор *С*, обеспечивающий нужное время автоматического возврата (а следовательно, и однократности действия), и три сопротивления r_1, $r_в$ и $r_р$ (*1R1*, *1R2* и *1R3*). (В скобках указаны обозначения элементов реле РПВ-58 согласно каталогу завода.)

Пуск АПВ происходит в результате возникновения несоответствия положения выключателя — **отключено** положению ключа управления — **включено** (контакты КУ *5—6* замкнуты).

Однократность действия обеспечивается конденсатором *С*, который, разрядившись на обмотку реле *1П*, может зарядиться снова лишь через 15—20 *сек* после включения выключателя и отпадания реле *2П*.

Время автоматического возврата определяется временем заряда конденсатора ($t_{зар}$) до напряжения, равного напряжению срабатывания ($U_{ср}$) реле *1П*:

$$t_{зар} = r_з C \ln \frac{U_п}{U_п - U_{ср}}, \qquad (11\text{-}1)$$

где $U_п$ — напряжение питания схемы.

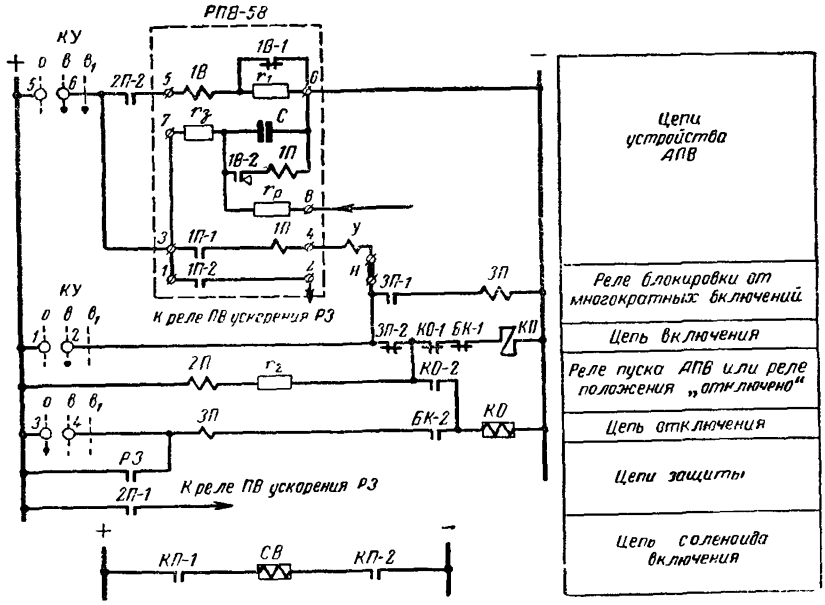


Рис. 11-1. Устройство ТАПВ с реле РПВ-58.

Таким образом, в случае включения на устойчивое к. з. конденсатор к моменту срабатывания наиболее медленно действующей защиты не должен вызывать действия реле *1П* при разряде на его обмотку.

Реле *ЗП* типа РП-232 предназначено для предотвращения многократных включений выключателя на устойчивое к. з. при подаче длительного включающего импульса из-за неисправности как устройства АПВ, так и ключа управления.

Действие этого реле аналогично действию электрической блокировки от **прыгания**, встроенной в привод

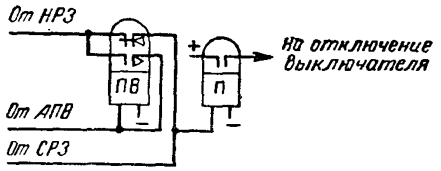


Рис. 11-2. Схема включения реле *ПВ*, ускоряющего действие защиты до АПВ.

выключателя. При наличии реле *ЗП* электрическая блокировка в приводе оказывается ненужной, поэтому применять ее при использовании типовых схем АПВ не рекомендуется.

В качестве пускового реле *2П* может быть использовано предназначенное для целей сигнализации реле цепи включения (РЦВ) или, как его иначе называют, реле положения отключено (РПО).

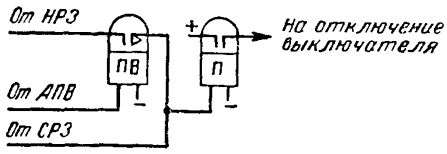


Рис. 11-3. Схема включения реле *ПВ*, ускоряющего действие защиты после АПВ.

Блокировка действия АПВ может быть осуществлена быстрым разрядом конденсатора путем подачи **минуса** на сопротивление $r_р$, как показано на рис. 11-1.

Ускорение действия релейной защиты (§ 11-8) осуществляется с помощью специального реле *ПВ* (рис. 11-2 и 11-3), имеющего замедление на возврат. Это реле пускается либо контактом *2П-1* реле *2П*, либо контактом *1П-2* реле *1П*.

Для того чтобы схемы, приведенные на рис. 11-2 и 11-3, действовали надежно, необходимо, чтобы реле *ПВ* имело достаточное замедление на отпадание. В качестве реле *ПВ* используется обычно реле типа РП-252, у которого время замедления на отпадание составляет около 0,7 *сек*, если оно перед этим находилось под напряжением в течение 0,5—1 *сек*.

Способы пуска реле *ПВ* от контактов *2П-1* или *1П-2* имеют свои преимущества и недостатки. При пуске от контакта *1П-2* реле *ПВ* находится под напряжением только в течение времени включения выключателя, зато от него не требуется большого замедления, так как напряжение снимается с него почти одновременно с включением выключателя и срабатыванием неселективной релейной защиты (НРЗ).

При пуске от *2П-1* реле *ПВ* находится под напряжением значительно дольше — от момента отключения выключателя до начала его повторного включения. Зато оно должно иметь и значительно большее замедление на возврат, чтобы перекрыть время включения выключателя.

Замедление реле *ПВ* на отпадание при пуске от *1П-2* должно составлять время порядка 0,2—0,3 *сек*; достаточное для срабатывания защиты.

При пуске от *2П-1*

$$t_{отп} \geqslant t_{в.в} + 0{,}2 \div 0{,}3 \text{ сек}, \qquad (11\text{-}2)$$

где $t_{в.в}$ — время включения выключателя.

В дальнейшем при изображении схем АПВ для упрощения цепи включающих электромагнитов показываться не будут.

б) ТАПВ с реле РПВ-58 и пуском от блок-контакта выключателя (для телемеханизированных подстанций)

На телемеханизированных подстанциях положение ключа управления не всегда отражает действительное положение выключателя, так как выключатель может изменить свое положение по телекоманде; поэтому осуществление пуска от несоответствия оказывается невозможным. В указанных случаях часто применяют пуск непосредственно от блок-контакта выключателя.

Плюс к АПВ подается жестко помимо контактов ключа управления, а для предотвращения срабатывания устройства при отключении выключателя в результате оперативной команды оно блокируется. Последнее осуществляется подачей минуса в точку *8* схемы реле РПВ-58 ключом управления или устройством телеуправ-

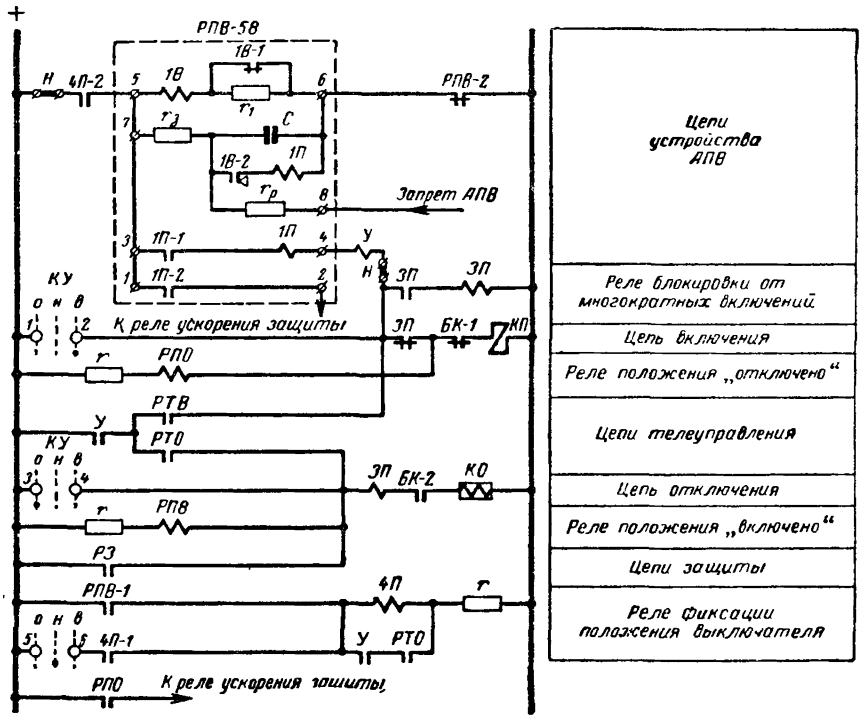


Рис. 11-4. Устройство ТАПВ с реле РПВ-58 и пуском, выполненным с помощью «фиксирующего» реле.

ления одновременно или несколько раньше подачи оперативной команды.

При этом конденсатор разряжается через сопротивление $r_р$ и, следовательно, нежелательное АПВ предотвращается. В остальном схема ничем не отличается от приведенной на рис. 11-1.

в) ТАПВ с реле РПВ-58 и пуском, выполненным с помощью фиксирующего реле

Пуск от несоответствия на телемеханизированных подстанциях может быть выполнен с помощью специального реле, фиксирующего положение выключателя после его оперативного включения (рис. 11-4) (ВГПИ ТЭП).

Когда выключатель включен, реле положения включено (*РПВ*), которое здесь используется в качестве пускового, срабатывает и его контакт *РПВ-1* замыкает цепь реле *4П*. Реле *4П* самоудерживается через свой контакт *4П-1* и контакт ключа управления, замкнутый при нейтральном положении последнего.

При отключении выключателя по любой причине обесточится реле *РПВ* и его контакт *РПВ-2* замкнется; однако для пуска устройства АПВ необходимо, чтобы был закмнут также контакт *4П-2*. Если отключение выключателя произошло в результате срабатывания релейной защиты или было самопроизвольным (например, от сотрясения), то реле *4П* останется подтянутым, а его контакт *4П-2* замкнутым. Следовательно, устройство АПВ пускается.

Если отключение выключателя осуществляется ключом управления, то будет разорвана цепь самоудержания реле *4П* и его контакт *4П-2* разомкнется. В процессе отключения выключателя реле *РПВ* отпадает и поэтому его контакт *РПВ-1* также размыкает цепь реле *4П*.

При отключении выключателя устройством телеуправления контакты последнего (*У* и *РТО*) шунтируют реле *4П* и, следовательно, контакт *4П-2* размыкается, как и в предыдущем случае. В обоих рассмотренных случаях пуска устройства АПВ не происходит.

Таким образом, пуск схемы, приведенной на рис 11-4, осуществляется по цепи **несоответствия** — контакты *4П-2* и *РПВ-2*,

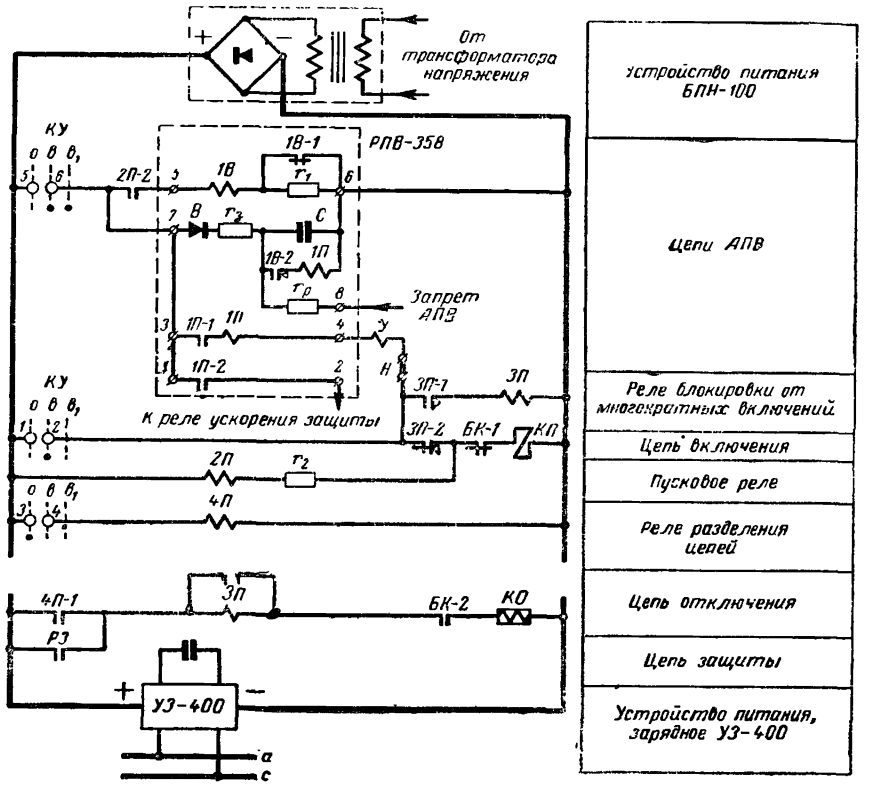


Рис. 11-5. Устройство ТАПВ с реле РПВ-358 для подстаций с переменным оперативным током.

причем первый играет роль контакта *5—6* ключа управления (рис. 11-1). В остальном схемы рис. 11-1 и 11-4 действуют аналогично.

Учитывая двойное назначение реле *4П*, которое осуществляет также сигнализацию аварийного отключения, схема применяется не только на телемеханизированных подстанциях и называется унифицированной.

г) ТАПВ с реле РПВ-358 и пуском от несоответствия для подстанций с переменным оперативным током

На подстанциях с переменным оперативным током в АПВ применяется комплектное реле РПВ-358 (рис. 11-5).

Питание схемы и промежуточного контактора *КП* осуществляется от специального выпрямительного устройства — блока питания с одним элементом напряжения, например типа БПН-100.

Действие катушки отключения обеспечивается за счет энергии предварительно заряженных конденсаторов.

Питание включающего электромагнита осуществляется от сети собственных нужд через общую подстанционную выпрямительную установку. Поскольку цепи включения и отключения питаются от разных источников, в схеме предусмотрено реле разделения цепей *4П*.

В качестве реле *3П*, предназначенного для предотвращения многократных включений выключателя, применено реле типа РП-252, имеющее замедление на возврат порядка 0,4 *сек*. Замедление необходимо для обеспечения действия блокировки при неисправности АПВ или ключа управления в условиях включения на устойчивое к. з. вблизи шин подстанции, так как ни блок питания, ни конденсаторы зарядного устройства не могут удержать якорь реле *3П* в подтянутом положении до отключения выключателя, когда после восстановления напряжения реле уже сможет самоудерживаться включающим импульсом.

Рассмотренный выше случай к. з. требует для обеспечения действия АПВ включения в цепь заряда конденсатора *С* устройства АПВ выпрямителя *В*, благодаря чему предотвращается недопустимый разряд конденсатора в течение процесса к. з., сопровождающегося сильным снижением напряжения на блоке питания. В остальном действие схемы рис. 11-5 аналогично действию схем для подстанций с постоянным оперативным током.

Приведенная на рис. 11-5 схема питания цепей не является единственной. Если питание цепей защиты данного присоединения осуществляется с помощью комбинированного блока питания, состоящего из элементов тока и напряжения (например, БП-100), то этот источник используется также для питания АПВ и промежуточного контактора.

На телемеханизированных подстанциях с переменным оперативным током схема АПВ изменяется в соответствии с изложенным в § 11-2,*в* и *г*.

д) ТАПВ для выключателей с пружинными или грузовыми приводами

На выключателях с номинальным напряжением до 35 *кв* широко применяются грузовые или пружинные приводы, конструкции которых предусматривают возможность АПВ в результате взаимодействия деталей привода.

Такие АПВ, встроенные в привод выключателя, называют механическими. Однократность действия при автоматическом подъеме груза (или натяжении пружины) с помощью моторного редуктора (АМР) обеспечивается за счет значительного времени действия АМР, составляющего 8—12 *сек*. Поэтому при вторичном отключении выключателя, после включения на устойчивое к. з., груз еще не достигает фиксированного верхнего положения и механизм расцепления не будет подготовлен к работе.

Контакты выключателя в цикле АПВ, осуществляемом механическим устройством, остаются разомкнутыми в течение очень небольшого времени—0,4—0,6 *сек*. Необходимое в ряде случаев увеличение времени действия АПВ достигается применением электрической схемы

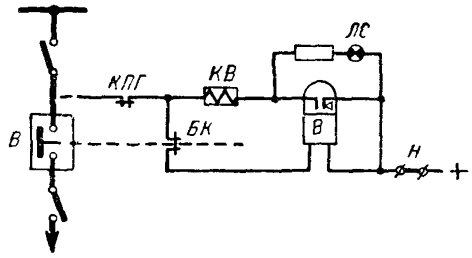


Рис. 11-6. Устройство ТАПВ для выключателей, оборудованных грузовыми приводами без автоматического подъема груза.

Для приводов без автоматического подъема груза (натяжения пружины) может быть применена схема рис. 11-6. Схема имеет пуск непосредственно от блок-контактов выключателя. Потребление включающих катушек грузовых и пружинных приводов позволяет замыкать цепь включения контактами реле, не применяя промежуточного контактора. Размыкание цепи катушки включения производит контакт положения груза (КПГ), встроенный в привод.

Схема возвращается в исходное положение после включения выключателя и подъема включающего груза персоналом. Таким образом, она имеет ручной возврат и приводится в положение готовности одновременно с приводом.

Для приводов с АМР применяются описанные выше устройства АПВ, предназначенные для электромагнитных приводов, или специальные схемы, несколько более простые за счет использования контактов положения груза (или пружины) привода.

На рис. 11-7 дана одна из таких схем, предназначенная для подстанций с переменным оперативным током. Пуск схемы осуществляется по цепи несоответствия, выполненной аналогично рис. 11-1. Включение выключателя производится через контакт *2В-2* реле *2В* и контакт привода *КПГ-1*, замкнутый при поднятом грузе. После успешного АПВ реле *2В* возвращается, двигатель АМР поднимает груз (или заводит пружину) и устройство снова готово к действию. При повторном срабатывании реле *2В* после АПВ на устойчивое к. з. действует и самоудерживается реле *3П*, размыкая цепи включения и двигателя АМР. При различных источниках питания цепей защиты и АПВ разделение этих цепей производится аналогично описанному выше в схеме рис. 11-5.

е) АПВ линий после действия АЧР

Для АПВ после АЧР может применяться схема рис. 11-8, в которой используется только одно реле ИВЧ-011. При снижении частоты срабатывает реле *1Ч* и приводит в действие реле *2П*, а через него и реле

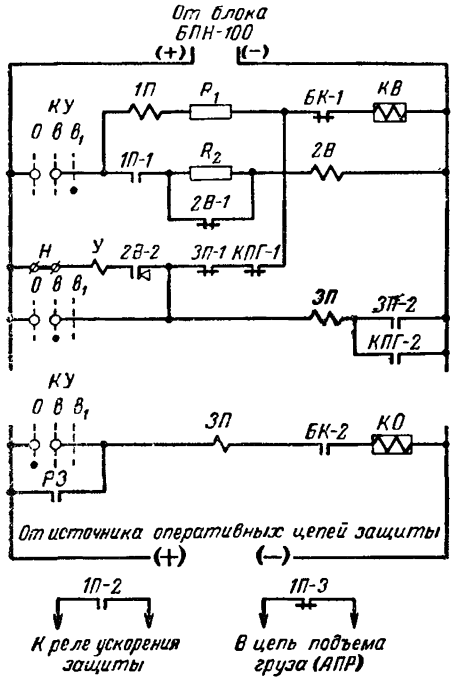


Рис. 11-7. Устройство ТАПВ для выключателей, оборудованных грузовыми или пружинными приводами с автоматическим подъемом груза на подстанциях с переменным оперативным током.

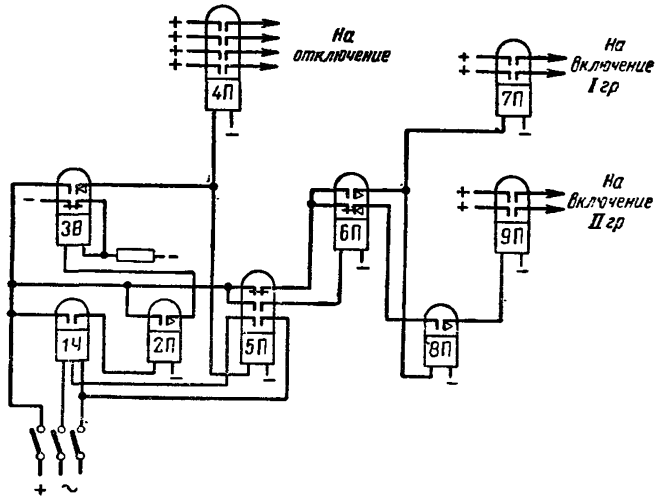


Рис. 11-8. Устройство ТАПВ группы присоединений, отключенных действием АЧР (Мосэнерго).

3В. По истечении установленной выдержки времени замыкается упорный контакт *3В*, включая реле *4П* и *5П*. Первое отключает линии, а второе закорачивает в реле *1Ч* часть добавочного сопротивления R_3, изменяя его уставку на более высокую. Одновременно замыкается цепь обмотки реле *6П*, имеющего замедленный возврат.

В дальнейшем при повышении частоты до величины возврата реле *1Ч* (с учетом новой уставки) обесточивается реле *2П* и, следовательно, возвращаются реле *3В*, *4П* и *5П*. Реле *5П* своим размыкающим контактом замыкает цепь реле *7П* и *8П*. Реле *7П* производит включение первой группы линий, а реле *8П* подготавливает цепь включения реле *9П*, которое срабатывает после замыкания размыкающего контакта реле *6П*. Срабатывание реле *9П* приводит к включению второй группы линий.

11-3. ТАПВ ДВУКРАТНОГО ДЕЙСТВИЯ ЛИНИЙ С ОДНОСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

На рис. 11-9 показана схема ТАПВ двукратного действия с реле типа РПВ-258 и пуском от несоответствия (ВНИИЭ). Отличие данной схемы от приведенной на рис. 11-1 заключается в добавлении второго контура с емкостью C_2 и проскальзывающего контакта на реле *1В*.

При пуске схемы реле *1В* с выдержкой времени $t_{ср1}$ замыкает проскальзывающий контакт *1В-2*, осуществляя разряд конденсатора C_1 через параллельную обмотку реле *1П*. В результате происходит включение выключателя, так же как в схеме рис. 11-1.

Если первое АПВ неуспешно и защита снова отключила выключатель, то вновь произойдет пуск схемы. Через время $t_{ср2}$ после второго пуска схемы реле времени замкнет контакт *1В-3*, позволяя конденсатору C_2 разрядиться через указательное реле $У_2$ на обмотку

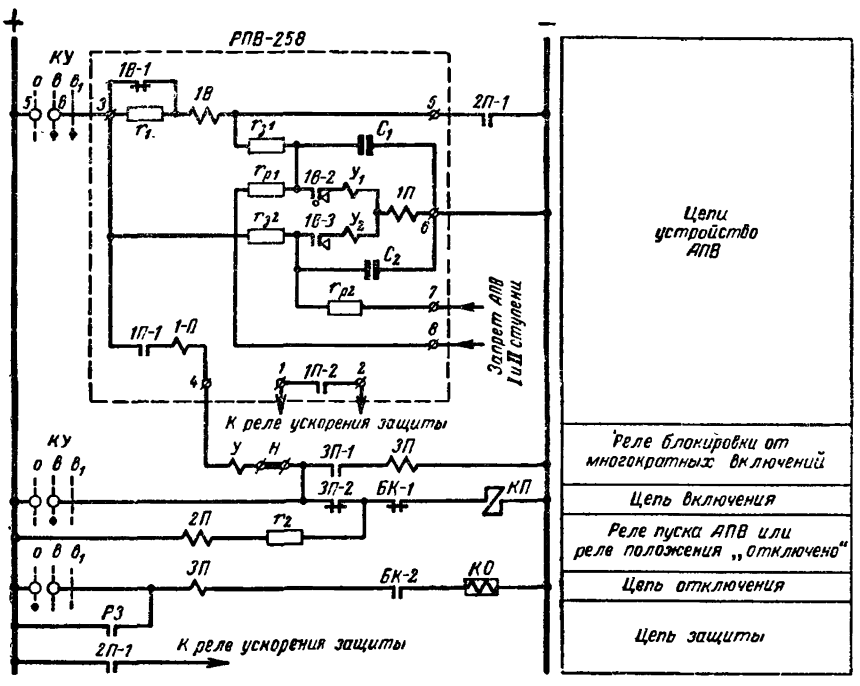


Рис. 11-9. Устройство ТАПВ двукратного действия с реле типа РПВ-258.

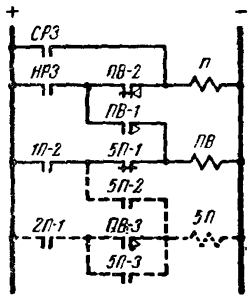


Рис. 11-10. Схема осуществления ускорения действия защиты до первого и после второго АПВ.

реле $1П_с$. Последнее срабатывает и осуществляет второе АПВ.

Использование проскальзывающего контакта *1В-2* для осуществления первого цикла АПВ несколько изменяет обычную (рис. 11-1) схему включения комплектного реле. Здесь контакт *2П-1* реле *2П* включен между минусом и зажимом *5* реле РПВ-258. Это сделано для того, чтобы после второго неуспешного АПВ конденсатор C_1 не мог заряжаться в интервале времени до квитирования ключа управления. Если бы контакт *2П-1* был включен так же, как в схеме рис. 11-1, то конденсатор C_1 мог бы успеть зарядиться. Тогда опробование поврежденной линии после неуспешного двукратного АПВ сопровождалось бы новым повторным включением, так как при замыкании контакта *1В-2* разряд конденсатора C_1 вызвал бы срабатывание реле *1П*, замыкающего цепь включения выключателя.

При двукратном АПВ могут быть применены несколько вариантов ускорения действия релейной защиты: только до первого АПВ; после первого и после второго АПВ; до первого и после второго АПВ.

Ускорение действия защиты в первом и втором случаях осуществляется с помощью схемы рис. 11-2, а в третьем может быть выполнено по схеме рис. 11-10. Часть схемы, дополнительная к схеме рис. 11-2, выделена пунктиром.

При возникновении повреждения НРЗ через размыкающий контакт *ПВ-2* реле *ПВ* действует на выходное реле *П*, а следовательно, и на отключение выключателя. После срабатывания АПВ реле *1П* пускает реле *ПВ* и одновременно шунтирует реле контроля цепи включения *2П*. Реле *ПВ* имеет замедление на возврат, поэтому оно является медленно действующим и при срабатывании.

В результате этого реле *2П* успевает отпасть раньше, чем последовательно сработают реле *ПВ* и *5П*. После включения выключателя в первом цикле АПВ реле *ПВ* некоторое время еще находится в сработанном положении. Поэтому при срабатывании НРЗ оно будет удерживаться от контакта НРЗ, а отключение выключателя будет производиться СРЗ (селективной релейной защитой).

После отключения выключателя реле контроля *2П* вновь замыкает свой контакт и пускает реле *5П*, которое разрывает цепь реле *ПВ*.

Контакт *ПВ-2* последнего замкнется, и, следовательно, после второго цикла АПВ выключатель будет отключаться НРЗ.

11-4. ТАПВ ЛИНИЙ С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

а) ТАПВ без проверки синхронизма (действующие на любые выключатели)

На линиях с двусторонним питанием в большинстве случаев оказывается возможным применить АПВ, используемые на линиях с односторонним питанием (§ 11-2 и 11-3).

Такая возможность определяется: на линиях, имеющих большое число шунтирующих связей, — тем, что возможность включения на несинхронное напряжение практически исключена; на одиночных линиях и линиях с одной-двумя шунтирующими связями — тем, что в ряде случаев включение на несинхронное напряжение не представляет опасности для оборудования, а благодаря значительному асинхронному моменту, создаваемому генераторами, синхронизм восстанавливается либо сразу после включения линии, либо после непродолжительного асинхронного хода.

В обоих случаях выбор уставок АПВ отличается от принятого на линиях с односторонним питанием только необходимостью учитывать время отключения к. з. с противоположного конца линии.

Во втором случае необходимо расчетным путем определить допустимость несинхронного АПВ (НАПВ).

Ограничивающим условием является величина максимального электромагнитного момента, возникающего в генераторах системы при включении с углом расхождения фаз э. д. с. $\delta_0 = 120—135°$.

Исходя из этого, определено, что НАПВ допустимо при следующих условиях:

$$\frac{I_{нс}}{I_{ном}} \leqslant \frac{0{,}625}{x''_d} \qquad (11\text{-}3)$$

— для турбогенераторов и гидрогенераторов с успокоительными контурами;

$$\frac{I_{нс}}{I_{ном}} \leqslant 3 \qquad (11\text{-}4)$$

— для гидрогенераторов без успокоительных контуров;

$$\frac{I_{нс}}{I_{ном}} \leqslant \frac{0{,}84}{x''_d} \qquad (11\text{-}5)$$

— для синхронных компенсаторов, где $I_{нс}$ — максимальное значение периодической составляющей тока в статоре генератора при включении с углом $\delta_0 = 180°$.

Если из расчетов известно, что несинхронное включение происходит при значениях частоты и напряжений, отличающихся от номинальных не более чем на 5%, максимально допустимые токи несинхронных включений, определенные по (11-3), можно увеличить на 13% — для турбогенераторов и на 35% — для гидрогенераторов с успокоительными контурами

Для трансформаторов сети НАПВ допустимо, если максимальное значение кратности тока при включении с углом $\delta_0 = 180°$ не превышает значения кратности тока короткого замыкания, допустимого для данного трансформатора при номинальном напряжении

$$\frac{I_{нс}}{I_{ном}} \leqslant \frac{100}{e_к\%}. \qquad (11\text{-}6)$$

Как правило, расчет допустимости НАПВ ведется без учета нагрузок. Однако, если такой расчет дает кратности токов, превышающие указанные выше в (11-3)—(11-6) допустимые значения, следует произвести расчеты с учетом влияния нагрузки, позволяющие расширить область применения НАПВ.

б) Поведение релейной защиты при НАПВ и основные способы предотвращения ее неправильных действий

Устройства релейной защиты, за исключением основанных на дифференциальном принципе (ДФЗ, РДЛ и т. д.), не отличают несинхронное включение от трех-

фазного к. з. В обоих случаях кратковременно появляются токи и напряжения обратной и нулевой последовательностей, снижается напряжение и проходят большие токи. В результате многие устройства релейной защиты могут действовать неправильно.

Наряду с этим при НАПВ, как и при АПВ на линиях, где нарушение синхронизма исключено, выключатели на обоих концах линии могут включиться одновременно и при наличии устойчивого повреждения режим несинхронного включения наложится на режим к. з. В таких условиях вероятны отказы и неправильные действия защиты на защищаемом и смежных участках.

В настоящее время разработано несколько основных способов предотвращения неправильных действий релейной защиты при НАПВ:

Первый способ — понижение чувствительности защиты до такой величины, при которой она не будет реагировать на несинхронные включения (см. раздел 5). Недостаток способа — загрубление защиты.

Второй способ — увеличение времени действия защиты, благодаря чему можно отстроиться от влияния симметричных составляющих обратной и нулевой последовательностей, обусловленных неодновременностью замыкания фаз выключателей. В тех случаях, когда указанная разновременность неизвестна, время срабатывания защит, реагирующих на симметричные составляющие, рекомендуется принимать не ниже: 0,1 *сек* — для выключателей с трехфазным приводом, 0,2 *сек* — для выключателей 110—220 *кв* с пофазными приводами.

Для прочих устройств защиты, реагирующих на полные токи и напряжения линии, способ замедления действия оказывается эффективным только при том условии, что защита сбрасывает набранное время в каждом цикле асинхронного хода. Поскольку правильное действие защиты зависит при этом не только от периода асинхронного хода в момент вхождения генераторов в синхронизм, но и от типов реле, их уставок и регулировки, можно дать только общую рекомендацию.

Если регулировка реле обеспечивает сбрасывание набранного времени в каждом цикле, то ложное действие защит будет исключено при следующих соотношениях их времени действия и максимального периода асинхронного хода ($T_{а.х.макс}$):

$t_{ср} \geqslant T_{а.х.макс}$ — для токовой защиты;

$t_{ср} \geqslant 0{,}8T_{а.х.макс}$ — для защиты минимального напряжения и второй зоны дистанционной защиты;

$t_{ср} \geqslant 0{,}5T_{а.х.макс}$ — для первой зоны дистанционной защиты.

Недостаток способа — увеличение времени действия защит.

Третий способ — кратковременный вывод защит, действующих ложно при НАПВ перед повторным включением выключателя. Осуществляется с помощью блокировки релейной защиты при качаниях, имеющей пуск от составляющих обратной и нулевой последовательностей. Время возврата блокировки выбирается так, чтобы ее готовность к последующему действию наступала с некоторым запаздыванием по отношению к НАПВ.

Условие применения способа — более высокая чувствительность блокировки к к. з., чем к несинхронным включениям.

Недостатки способа: не всегда обеспечиваются достаточные чувствительность и быстродействие защиты при АПВ на устойчивое к. з.; защиты часто выводятся из действия на значительное время (5—7 *сек*); возможно ложное действие защиты в процессе асинхронного хода при кратковременном появлении несимметрии после возврата блокировки; не предотвращается ложное действие защиты при оперативном включении линии в транзит.

Способ применяется на участках, смежных с линией, на которой осуществляется НАПВ.

Четвертый способ рекомендуется на линиях, где применено НАПВ. Одновременно с выводом защиты блокировкой от качаний используется неодновременность повторного включения выключателей с разных концов линии. Сначала производится АПВ с одного конца линии в режиме одностороннего питания. После успешного АПВ защита выводится блокировкой. Затем включается на несинхронное напряжение выключатель с другой стороны, при выведенной из действия защите на обоих концах данной линии и на смежных линиях. Разновременность включения выключателей обоих концов линии достигается либо увеличением времени действия АПВ на одном конце линии, либо, кроме того, введением на том же конце контроля наличия напряжения, предотвращающего включения на устойчивое повреждение. Контроль может осуществляться с помощью реле напряжения *РН* комплекта блокировки КРБ-121, причем контакты реле *РН* включаются последовательно с обмоткой реле *1В* схемы АПВ.

При наличии на линии трансформатора напряжения можно контролировать наличие напряжения на всех фазах, применив, например, фильтр напряжения обратной последовательности. Тогда будет предотвращаться включение на устойчивое повреждение и резко снизится время действия АПВ второго конца линии. Последнее при этом можно выбирать, как на линии с односторонним питанием.

в) БАПВ

Основой применения БАПВ является конструкция воздушных выключателей, позволяющая производить отключение и повторное включение линии с помощью контактов гасительных камер, не используя ножей отделителей. Последние отключаются только после неуспешного АПВ. Полное время цикла успешного БАПВ при наличии быстродействующей защиты составляет 0,25—0,5 *сек*. Малое время цикла БАПВ определяет: незначительное изменение скольжения, что облегчает условия вхождения в синхронизм, и меньшие, чем при НАПВ, толчки уравнительных токов.

К релейной защите при БАПВ предъявляются требования быстрого и одновременного срабатывания на обоих концах поврежденной линии. Как правило, применяются высокочастотные защиты, однако принципиально могут быть использованы и более простые, но быстродействующие защиты. Допускается неселективность, исправляемая действием БАПВ.

Условия допустимости БАПВ:

1. Угол, при котором происходит включение, не должен превышать допустимого значения, определяемого динамической устойчивостью системы, $\delta_{вкл} \leqslant \delta_{доп}$.

2. Максимальные электромагнитные моменты, возникающие в генераторах при БАПВ, не должны превышать значений, соответствующих к. з. на выводах генераторов.

Время бестоковой паузы ($t_{б.п}$) должно быть больше времени деионизации среды ($t_{д.с}$). Увеличение бестоковой паузы снижает вероятность повторного зажигания дуги после БАПВ, но, с другой стороны, сужает область его применения, так как $\delta_{вкл}$ может превысить $\delta_{доп}$.

БАПВ обеспечивает включение выключателя при углах $\delta_{вкл}$, меньших, чем в случае применения НАПВ,

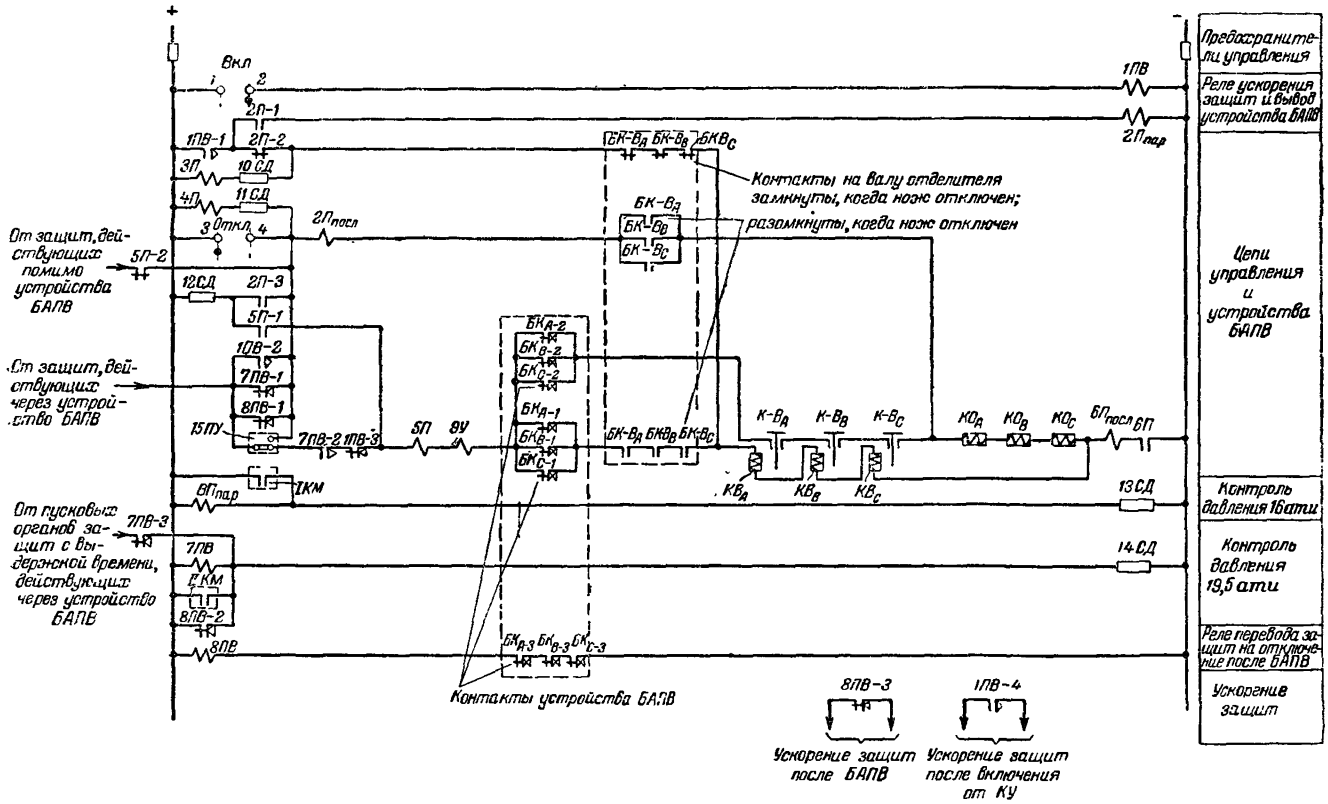


Рис. 11-11. Схема БАПВ для воздушных выключателей 220 *кв*, находящихся в эксплуатации.

и с меньшими уравнительными токами. Поэтому условия работы релейной защиты в цикле БАПВ также легче.

Если после БАПВ не возникает нарушения устойчивости, мероприятия по релейной защите ограничиваются загрублением междуфазных быстродействующих защит (кроме дифференциальных) или замедлением их действия после БАПВ. Быстродействующие защиты нулевой и обратной последовательностей отстраиваются от времени разновременности включения фаз выключателя.

Пуск схемы должен осуществляться от быстродействующих защит, действующих одновременно на обоих концах линии, и должен контролироваться давлением воздуха в резервуарах выключателя, причем, если снижение давления произошло после начала действия схемы, цикл БАПВ прерываться не должен.

На рис. 11-11 приведена схема БАПВ для воздушных выключателей 220 *кв*, находящихся в эксплуатации (ВГПИ ТЭП). Управление выключателем выполнено таким образом, что БАПВ осуществляется только при условии одновременной подачи команды на включение и отключение, если давление воздуха в магистралях не ниже 19,5 *ат*. При давлении в пределах 16—19,5 *ат* хотя БАПВ и не разрешается, однако операции включения и отключения выключателя еще возможны. В случае снижения давления ниже 16 *ат* все операции запрещаются.

Реле *1ПВ* служит для включения выключателя при подаче команды ключом управления и для вывода из действия БАПВ (контактом *1ПВ-3*).

Давление воздуха контролируется двумя контактными манометрами *11КМ* и *1КМ*. Первый срабатывает при понижении давления ниже 19,5 *ат* и запрещает БАПВ с помощью реле *7ПВ*, имеющего замедление на возврат порядка 0,5 *сек*, обмотка которого шунтируется контактом *11КМ*. Реле *7ПВ* контактом *7ПВ-2* разрывает цепь БАПВ, причем замедление позволяет окончить операцию включения, если она уже началась, а контактом *7ПВ-1* переводит действие защит, пускающих БАПВ, на отключение без БАПВ.

Реле *1КМ* срабатывает при понижении давления ниже 16 *ат* и с помощью реле *6П* обеспечивает размыкание цепей включения и отключения выключателя. Последовательная обмотка реле *6П* предназначена для предотвращения запрета операции, если она уже началась. БАПВ осуществляется по цепи, которая контролируется блок-контактами устройства БАПВ всех фаз выключателя: $БК_А$-*1*, $БК_В$-*1*, $БК_С$-*1* и $БК_А$-*2*, $БК_В$-*2*, $БК_С$-*2*. Эти блок-контакты размыкаются после того, как контакты гасительных камер разорвут дугу тока к. з. Возврат контактов в исходное положение происходит также с выдержкой времени порядка 1,5—2,5 *сек*. Время возврата выбирается так, чтобы цепь БАПВ была разомкнута до тех пор, пока выключатель не отключится полностью после неуспешного БАПВ.

При срабатывании защиты, действующей через БАПВ, замыкается цепь катушек включения (*КВ*) всех фаз выключателя. Цепь осуществляется через *15ПУ*, контакты *7ПВ-2*, *1ПВ-3*, блок-контакты БАПВ (*БК-1*), блок-контакты на валу отделителя *БК-В* и контакт реле *6П*. Катушки включения замыкают свои блок-контакты (*К-В*) и создают цепь катушек отключения (*КО*).

Таким образом, ток проходит одновременно через катушки включения и отключения. При этом в приводе выключателя обеспечивается действие дугогасящих контактов и блокируется действие отделителя.

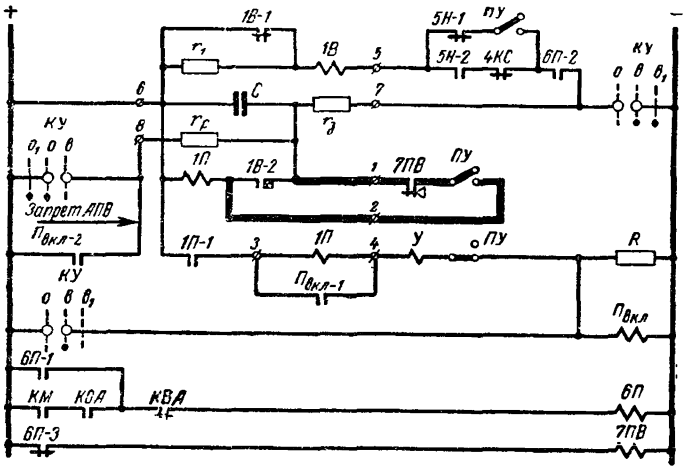


Рис. 11-12. Схема БАПВ для воздушных выключателей типов ВВН 220/2000-10000 и ВВН 110/2000-6000.

В случае включения выключателя на устойчивое к. з. цепь отключения быстродействующей защиты оказывается разомкнутой контактами *БК*.

Для обеспечения действия защиты служит реле *8ПВ*, также имеющее замедление на возврат. Последнее при размыкании хотя бы одного из блок-контактов *БК-3* в фазах выключателя, переводит контактом *8ПВ-1* действие защиты на отключение помимо БАПВ и обеспечивает размыкание цепи БАПВ контактом *7ПВ-2*, шунтируя обмотки реле *7ПВ* своим контактом *8ПВ-2*.

Последнее необходимо для предотвращения возможных многократных включений в случае, если после АПВ будет действовать только защита с выдержкой времени, большей времени возврата блок-контактов *БК*.

Если время действия защит, имеющих выдержку времени, больше максимально возможной задержки на возврат блок-контактов БАПВ, то это могло бы привести к многократному БАПВ.

Поэтому в этом случае после БАПВ предусматривается его вывод на более длительное время с одновременным переводом защит на действие помимо устройства БАПВ с помощью плюса, подаваемого пусковыми органами защит с выдержкой времени, действующих через БАПВ. Плюс подается через контакт *7ПВ-3*, который замыкается после отпадания реле *8ПВ* и *7ПВ*. Благодаря этому блокирующее действие реле *7ПВ* сохраняется до отключения выключателя медленно действующей защитой.

Реле *5П* своим контактом *5П-1* шунтирует контакты реле защит, пускающих БАПВ, и предотвращает разрыв цепей включающих и отключающих катушек этими контактами в тех случаях, когда блок-контакты БАПВ не успеют их опередить. Аналогичную роль играет контакт *2П-3* реле *2П* для защит, действующих помимо БАПВ.

Сопротивление *12СД* обеспечивает четкое срабатывание указательных реле, установленных в выходных цепях защит, несмотря на шунтирующее действие контактов *5П-1* и *2П-3*.

В настоящее время промышленностью выпускаются новые типы воздушных выключателей с номинальным напряжением 35—500 *кв*. В этих выключателях отделители не создают видимого разрыва цепи, а находятся в специальной закрытой камере под давлением.

Время включения выключателей типов ВВ-500/20000, ВВН-220/2000/10000, ВВН-330/2000/15000, ВВН-110/2000/6000, ВВН-35/2000/2000 и ВВН-35/1000/1000 мало и не превышает 0,25 *сек*.

Поэтому на этих выключателях может быть осуществлено БАПВ.

На рис. 11-12 приведена схема с использованием комплектного реле РПВ-58 (ВГПИ ТЭП), в которой наряду с БАПВ предусмотрено АПВОС (жирными линиями выделены цепи БАПВ). Такое сочетание может быть полезно в случае, когда отключены быстродействующие защиты. Выдержка времени БАПВ определяется временем отпадания реле *7ПВ*, а АПВОС—замыканием контакта *1В-2*.

Устройство АПВ пускается при срабатывании защиты, если ключ управления находится в положении «включено», а давление не ниже допустимого. В цепи пуска участвуют блок-контакты катушек отключения и включения *КВ* одной любой фазы выключателя.

Контакты манометра *КМ* замкнуты, если давление выше 19 и 19,5 *ат* для выключателей 110—500 и 35 *кв* соответственно.

При этом пуск осуществляется блок-контактами катушки отключения какой-либо фазы (*КО*), замыкающими цепь реле *6П*. Последнее срабатывает, самоудерживается и подрывает реле *7ПВ*, имеющее замедление на отпадание.

Контакт *7ПВ* замыкает при отпадании реле цепь разряда конденсатора на обмотку реле *1П* и обеспечивает включение выключателя.

Включение выключателей указанных типов, в том числе и от ключа управления, производится через специальное включающее реле $П_{вкл}$.

Цепь запрета АПВ ключом управления неохбодима, поскольку пуск схемы осуществляется через реле *6П*, цепь которого контролируется контактным манометром.

Если при отключении выключателя ключом управления давление было ниже 19 *ат*, реле *6П* не срабатывает. В результате цепь разряда конденсатора отсутствовала бы независимо от положения контактов реле *5Н* и *4КС*. Тогда при последующем включении выключателя ключом управления на устойчивое к. з. при восстановившемся давлении произошло бы нежелательное повторное включение.

Запрет АПВ контактом $П_{вкл}$-*2* сделан для предотвращения включения в случае, если после неуспешного АПВ дежурный персонал опробует линию без предварительного квитирования ключа управления. Цепи ускорения действия защиты (не показанные на рис. 11-12) осуществляются с помощью замыкающего контакта реле положения выключателя отключено (*РПО*), включенного в цепь катушки включения.

г) ТАПВ с ожиданием синхронизма (ТАПВОС)

Линия с двусторонним питанием, имеющая нормально две-три шунтирующие связи, при наложении аварий в ремонтном режиме может оказаться в условиях одиночного транзита. В этих случаях, если невозможно применение НАПВ или БАПВ, выполняют АПВ с проверкой синхронизма.

При этом не стремятся обеспечить возможность АПВ одиночной линии, что потребовало бы серьезного усложнения схемы, а ставят целью лишь предотвратить недопустимое включение на несинхронное напряжение в указанных чрезвычайно редких режимах.

Ранее такие схемы АПВ выполнялись по принципу проверки синхронизма и разрешали включение только при наличии условий синхронизма в момент проверки. Такое решение оказалось неудачным, так как даже при наличии нескольких параллельных связей после отключения линии иногда возникали качания, что приводило

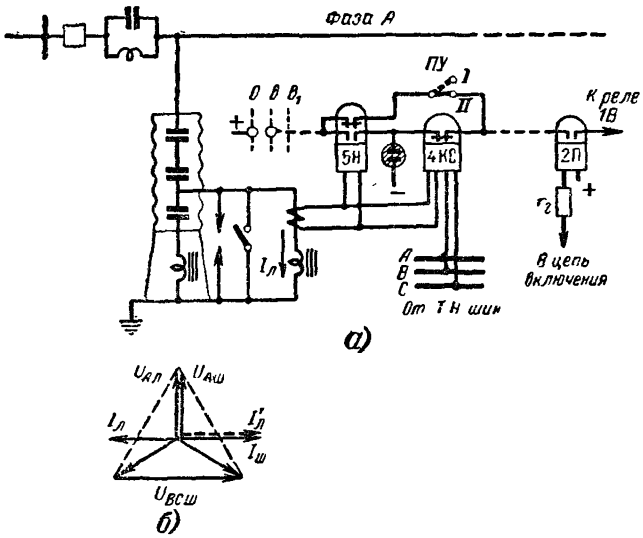


Рис. 11-13. Схема включения реле, обеспечивающих проверку отсутствия встречного напряжения и условий, близких к синхронным, в устройствах ТАПВ рис. 11-1.

а — принципиальная схема; *б* — векторная диаграмма токов в реле *4КС*.

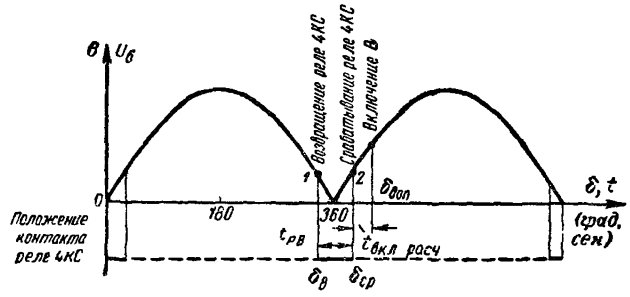


Рис. 11-14. График работы схемы рис. 11-13.

——— — контакт реле *4КС* замкнут; - - - - - - — контакт реле *4КС* разомкнут.

к запрещению устройством контроля синхронизма, вполне допустимого АПВ.

В настоящее время распространение получили схемы АПВ с ожиданием синхронизма, которые разрешают действие АПВ на включение выключателя, при наличии синхронизма или при небольших скольжениях порядка 0,2—0,4%.

С одной стороны линии АПВ производится при отсутствии встречного напряжения, а с другой — при указанных выше условиях.

Для измерения напряжения на линии обычно применяются емкостные делители напряжения.

В качестве емкостных делителей могут быть использованы высоковольтные конденсаторы связи, конденсаторные вводы выключателей, опорные и подвесные изоляторы, а также антенны.

На рис. 11-13,*а* приведена схема для проверки отсутствия встречного напряжения и условий синхронизма, которая включается дополнительно в схему ТАПВ (рис. 11-1) между ключом управления (контакт *5—6*) и контактом *2П-2*. Работа схемы поясняется векторной диаграммой, приведенной на рис. 11-13,*б*.

Проверка отсутствия напряжения производится с той стороны линии, где переключатель *ПУ* стоит в положении *II*. Если после отключения выключателя встречное напряжение отсутствует, то контакт *5Н-2* реле напряжения *5Н* замыкает цепь пуска.

Разрешение на повторное включение с другого конца линии, где переключатель *ПУ* стоит в положении *1*, дает реле контроля синхронизма *4КС* типа ЭН-535, включенное, как показано на рис. 11-13,*а*. Контакт реле *4КС* и контакт *5Н-1* реле *5Н* замкнуты, если на линии имеется напряжение и угол между напряжениями на линии и шинах не превосходит уставку реле *4КС* — $\delta_{ср}$. Тогда реле *1В* схемы АПВ срабатывает и включает выключатель.

Если напряжения на шинах и на линии несинхронны, то реле *4КС*, реагируя на напряжение биений $U_в$, попеременно срабатывает и возвращается (рис. 11-14).

Включение выключателя допустимо при угле δ, не превышающем значения $\delta_{доп}$ или заданного $\delta_{вкл}$. Тогда при данных периоде биения и времени включения выключателя ($t_{в.в}$) включающий импульс должен быть послан не позже, чем в момент времени, соответствующий точке *2* на кривой биений.

Исходя из этого, на реле *1В* устанавливается выдержка времени $t_{ср1}$, несколько меньшая интервала между значениями $\delta_{возв}$ и $\delta_{ср}$ (точки *1* и *2*), тогда оно успеет сработать за указанный промежуток времени и выключатель включится.

При скольжении, большем изображенного на рис. 11-14,*а*, интервал между точками *1* и *2* окажется меньше $t_{ср1}$, контакт реле *4КС* разомкнет цепь реле времени раньше, чем оно замкнет контакт *1В-2*, и предотвратит включение выключателя при δ_0, превышающем заданное значение $\delta_{вкл}$.

Если используется предусмотренная в схеме возможность изменения очередности включения выключателей переключателем *ПУ*, то уставка $t_{ср1}$ должна отстраиваться от времени отключения повреждения с противоположной стороны линии на обоих ее концах.

При установке переключателя *ПУ* в положение *II*, показанное на рис. 11-13,*а*, обеспечивается не только контроль отсутствия напряжения, но и проверка синхронизма, благодаря чему устраняется отказ ТАПВ в случае одностороннего отключения линии.

В рассматриваемой схеме контроль синхронности напряжений выполнен по принципу **ожидания** синхронизма. Ввиду этого при продолжительном отсутствии условий синхронизма может потребоваться вывод из работы ТАПВ. Для этого в схеме (рис. 11-1) вместо перемычки между зажимами *3* и *7* реле РПВ-58 нужно включить размыкающий контакт реле *2П*, а между зажимами *6* и *7* — сопротивление, величина которого определяется требуемой длительностью ожидания условий синхронизма.

Реле контроля синхронизма имеют угловую ошибку из-за неравенства сравниваемых напряжений по амплитуде. Указанная погрешность относительно невелика в области уставок 30—60° по шкале реле ЭН-535, что следует учитывать при выборе $\delta_{ср}$ и $\delta_{возв}$.

На рис. 11-15,*а* приведена другая схема АПВОС (Белорусэнерго), основанная на измерении интервала между двумя значениями напряжения биения нисходящей части кривой $U_в=f(\delta)$. Диаграмма, поясняющая принцип действия схемы, дана на рис. 11-15,*б*. АПВ выполнено также с помощью реле РПВ-58. Для контроля условий синхронизма применено два реле напряжения *1Н* и *2Н*, включенные на напряжение биений. Если за промежуток времени между точками *1* и *2* (δ_1 и δ_2), в течение которого контакты *1Н* и *2Н-1* замкнуты, реле *1В* успеет сработать с заданной выдержкой времени $t_{ср}$, то оно будет самоудерживаться через контакт *1В-2* и устройство АПВ произведет включение выключателя.

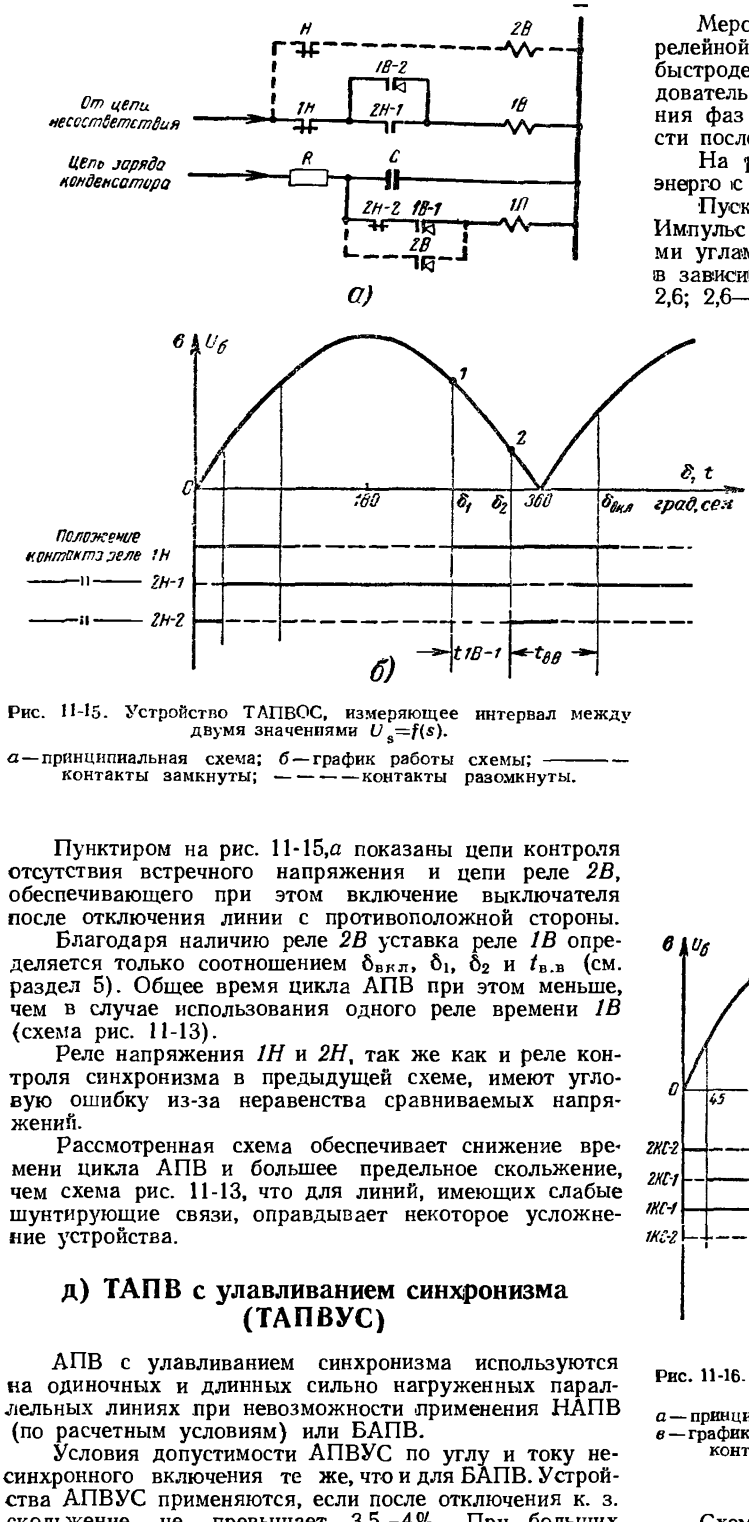


Рис. 11-15. Устройство ТАПВОС, измеряющее интервал между двумя значениями $U_s=f(s)$.

а — принципиальная схема; *б* — график работы схемы; ——— контакты замкнуты; — — — — контакты разомкнуты.

Пунктиром на рис. 11-15,*а* показаны цепи контроля отсутствия встречного напряжения и цепи реле *2В*, обеспечивающего при этом включение выключателя после отключения линии с противоположной стороны.

Благодаря наличию реле *2В* уставка реле *1В* определяется только соотношением $\delta_{вкл}$, δ_1, δ_2 и $t_{в.в}$ (см. раздел 5). Общее время цикла АПВ при этом меньше, чем в случае использования одного реле времени *1В* (схема рис. 11-13).

Реле напряжения *1Н* и *2Н*, так же как и реле контроля синхронизма в предыдущей схеме, имеют угловую ошибку из-за неравенства сравниваемых напряжений.

Рассмотренная схема обеспечивает снижение времени цикла АПВ и большее предельное скольжение, чем схема рис. 11-13, что для линий, имеющих слабые шунтирующие связи, оправдывает некоторое усложнение устройства.

д) ТАПВ с улавливанием синхронизма (ТАПВУС)

АПВ с улавливанием синхронизма используются на одиночных и длинных сильно нагруженных параллельных линиях при невозможности применения НАПВ (по расчетным условиям) или БАПВ.

Условия допустимости АПВУС по углу и току несинхронного включения те же, что и для БАПВ. Устройства АПВУС применяются, если после отключения к. з. скольжение не превышает 3,5—4%. При больших скольжениях возможное изменение времени включения выключателя может приводить к значительному увеличению $\delta_{вкл}$. Уже при $s\approx4\%$ изменение $t_{в.в}$ на ±10% может увеличить $\delta_{вкл}$ на 25—30°.

Мероприятия по обеспечению правильности действия релейной защиты ограничиваются обычно отстройкой быстродействующих защит нулевой и обратной последовательностей от времени разновременности включения фаз выключателей, так как нарушение устойчивости после АПВУС, как правило, не имеет места.

На рис. 11-16 приведена схема АПВУС Белорусэнерго с тремя углами опережения.

Пуск схемы осуществляется по цепи несоответствия. Импульс на включение выключателя подается с разными углами опережения ($\delta_{оп}$), равными 45, 135 и 225°, в зависимости от величины скольжения — до 1,2; 1,2—2,6; 2,6—3,8% соответственно.

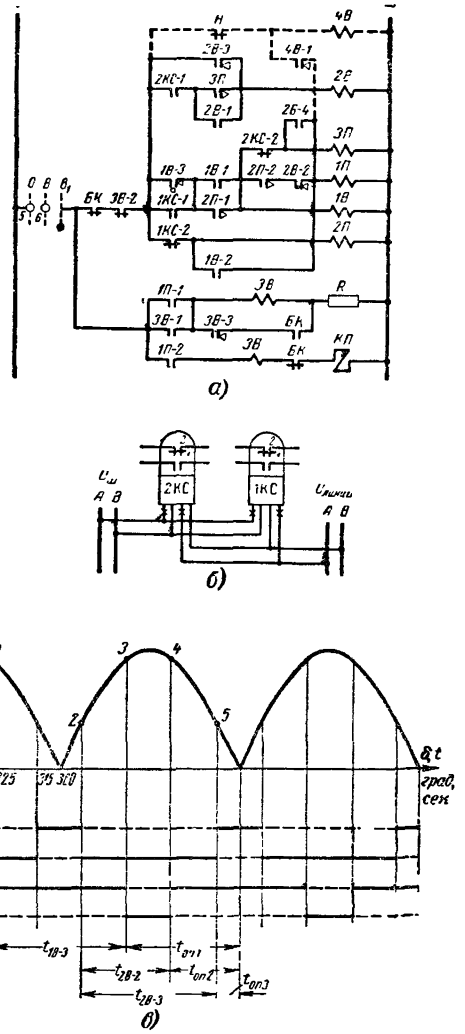


Рис. 11-16. Устройство ТАПВУС с тремя углами опережения на включение выключателя.

а — принципиальная схема; *б* — схема включения реле *1КС* и *2КС*; *в* — график работы схемы; ——— контакты замкнуты; — — — — контакты разомкнуты; $\delta_{оп1}=225°$; $\delta_{оп2}=135°$, $\delta_{оп3}=45°$.

Схема включения реле контроля синхронизма *1КС* и *2КС* (ЭН-535) приведена на рис. 11-16,*б*. Реле *1КС* включено на напряжение линии с обратной полярностью. Таким образом, когда напряжения равны и синхронны, в реле *2КС* магнитный поток равен нулю

и якорь его не подтянут. При этом замкнут контакт *2* и разомкнут *1*. В реле *1КС* в этих же условиях магнитный поток имеет большое значение, якорь реле подтянут. При этом контакт *1* замкнут, а *2* разомкнут. Уставки по углу на обоих реле принимаются равными 45°. На рис. 11-16,*в* показано, в каком положении находятся контакты реле *1КС* и *2КС* в зависимости от напряжения биений.

В устройствах АПВУС могут быть применены синхронизаторы с постоянным временем опережения. Предельное скольжение, при котором может быть разрешено действие АПВУС с таким синхронизатором, ограничивается разбросом времени включения выключателя.

11-5. ОАПВ ЛИНИЙ С ОДНОСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

а) Основные требования к ОАПВ

ОАПВ состоит из избирателей, определяющих поврежденную фазу, и автомата, включающего ее повторно.

Преимущество ОАПВ перед ТАПВ заключается в том, что отключение одной фазы не приводит к перерыву в питании потребителей. В то же время почти 80% отключений линий с номинальным напряжением 110 *кв* и выше происходит именно в результате однофазных к. з.

Осуществление ОАПВ требует:

1) раздельного управления фазами выключателей и разъединителей;

2) обеспечения селективности действия релейной защиты при работе одного из участков сети с отключенной фазой;

3) защиты линий связи от влияния несимметричного режима линий электропередачи;

4) усложнения АПВ введением избирательных органов.

В ряде случаев после неуспешного ОАПВ предусматривается длительная работа линии по схеме две фазы — земля. Такой режим работы еще более утяжеляет требования, сформулированные в пп. 2 и 3. Кроме того, возникает длительная несимметрия магнитного поля генераторов и двигателей, вызывающая вибрацию машины.

Учитывая вышесказанное, возможность длительной работы линии двумя фазами устанавливают для каждой линии в отдельности.

Релейная защита и ОАПВ выполняют следующие операции:

1) при однофазных к. з. на линии производят выбор и отключение поврежденной фазы, а также ее повторное включение;

2) при двухфазных и трехфазных коротких замыканиях производят отключение всех трех фаз с последующим ТАПВ;

3) после неуспешного ОАПВ переводят линию на работу двумя фазами, если такой режим работы допустим, или отключают линию полностью, если работа двумя фазами недопустима;

4) ликвидируют любые повреждения линии, работающей двумя фазами, отключением обеих фаз с последующим АПВ.

б) Избирательные органы

Для питающего конца линии в большинстве случаев может быть применен токовый избирательный орган (рис. 11-17).

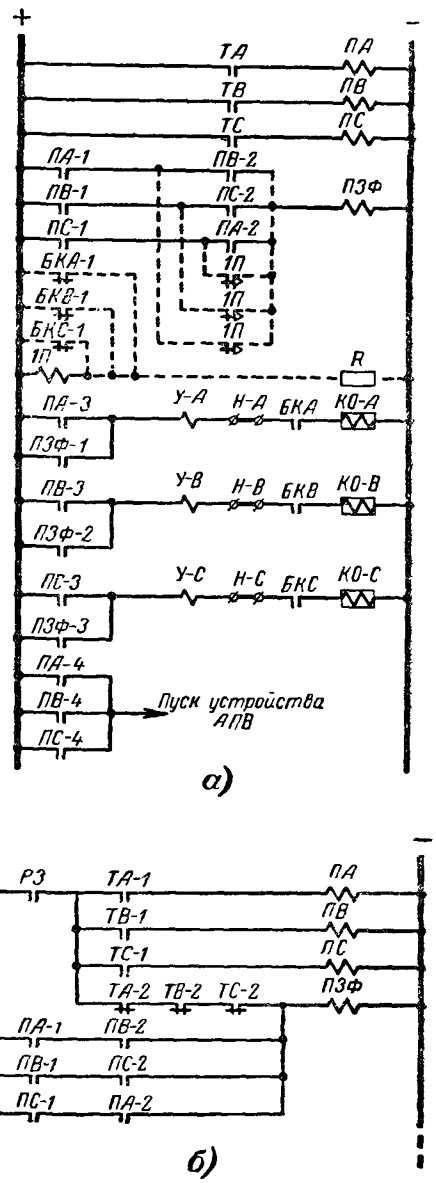


Рис. 11-17. Принципиальная схема токового избирательного органа для питающего конца линии.

а — основной вариант схемы; *б* — вариант схемы для случая, когда основная защита более чувствительна, чем токовые избирательные реле.

В случае срабатывания токовых реле в любых двух фазах избиратель отключает все три фазы выключателя через контакты реле ПЗФ.

На схеме рис. 11-17,*а* пунктиром показаны цепи реле *1П*, которое иногда устанавливается для того, чтобы при работе линии двумя фазами обеспечить ее отключение при срабатывании одного любого токового реле.

Если токовые избирательные реле менее чувствительны, чем основная защита линии, то применяется схема рис. 11-17,*б*, где показаны цепи, пускающие три реле *П* и реле *ПЗФ*. Схема обеспечивает отключение

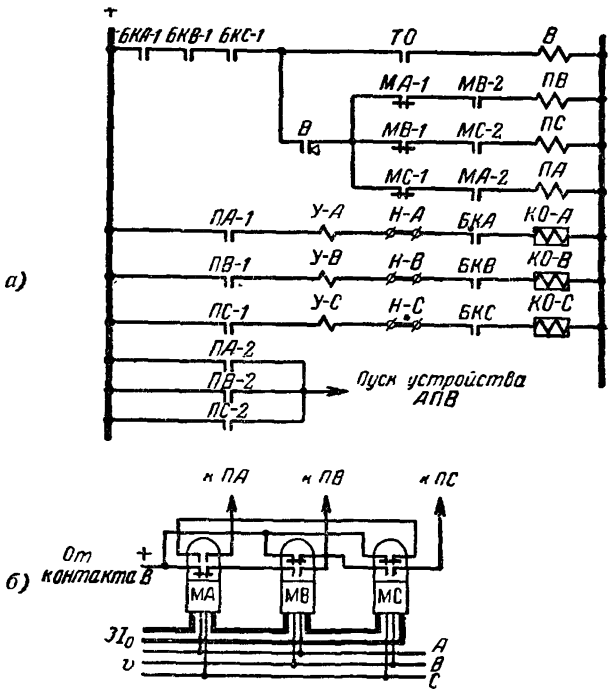


Рис. 11-18. Принципиальная схема избирательного органа с реле мощности для приемного конца линии.
а — схема цепей постоянного тока; *б* — схема включения реле мощности.

линии и возможность ТАПВ при отказе избирательного реле.

Для приемного конца линии наиболее просто избирательный орган может быть выполнен с помощью реле минимального напряжения, включенных на фазные напряжения.

При отсутствии трансформатора напряжения на шинах высшего напряжения приемной подстанции используются трансформаторы напряжения, установленные на шинах среднего или низшего напряжения, при этом чувствительность избирательного органа сильно понижается.

В указанном случае применяются реле направления мощности косинусного типа, включаемые на ток $3I_0$, и линейные напряжения. В ряде случаев целесообразно для повышения чувствительности применять реле направления мощности и при наличии трансформатора напряжения на стороне высшего напряжения приемной подстанции.

На рис. 11-18,*а* и *б* показана схема включения реле направления мощности *М* для случая питания обмоток напряжения со стороны треугольника силового трансформатора.

Пусковым органом схемы, так же как и при использовании реле напряжения, является токовое реле T_0, реагирующее на ток нулевой последовательности. Реле времени предусмотрено для отстройки от быстродействующих земляных защит линий, отходящих от питающей подстанции.

в) Схема ОАПВ

Схема самого устройства АПВ приведена на рис. 11-19. Проскальзывающий контакт реле *В* осуществляет выдержку времени на включение фаз, а упорный контакт возвращает схему в исходное положение. Реле *2П* предотвращает многократное включение фаз выключателя. Схема АПВ может быть выполнена и на базе комплектного реле РПВ-58. При этом в цепи пуска устройства должны использоваться соединенные параллельно соответствующие контакты реле положения отдельных фаз выключателя. Кроме того, должна быть обеспечена подача включающего импульса от выходного реле *1П* комплекта РПВ-58 на имеющие раздельное управление фазы выключателя, что достигается с помощью специальных реле команды в цепях управления.

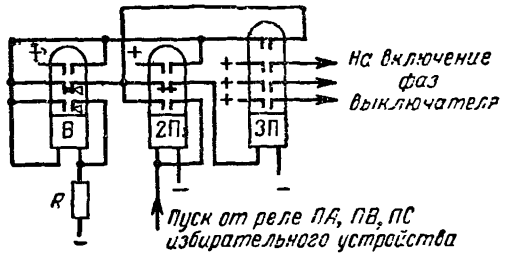


Рис. 11-19. Вариант устройства, осуществляющего повторное включение фаз выключателя в схеме ОАПВ.

г) ОАПВ при отсутствии выключателей на приемной подстанции

В целях экономии аппаратуры на стороне высшего напряжения приемной подстанции целесообразно не устанавливать выключатели. В этих случаях для осуществления ОАПВ возможны следующие пути:

1. На приемной подстанции устанавливаются управляемые пофазно отделители. Со стороны питающей подстанции линия при однофазном к. з. отключается тремя фазами, затем отделитель на приемной подстанции отключает поврежденную фазу. После ТАПВ со стороны питания, если оно оказалось успешным, отделитель замыкает ток нагрузки.

Если ТАПВ неуспешно, то поврежденная фаза отключается со стороны питания и линия переходит на работу по схеме две фазы — земля.

При таком решении теряется преимущество ОАПВ — отсутствие перерыва в питании потребителя при неустойчивых однофазных к. з., но сохраняется автоматический переход на работу двумя фазами.

2. На приемной подстанции нейтрали трансформаторов не заземляются и никакой аппаратуры специально для целей осуществления АПВ не устанавливается. При однофазном к. з. поврежденная фаза отключается со стороны питания. Если повреждение было вызвано кратковременным перекрытием изоляции, то дуга обычно в этом случае гаснет и повторное включение фазы оказывается успешным.

Если ОАПВ неуспешно, то отключаются все три фазы.

Такое решение сохраняет преимущество ОАПВ в части бесперебойного питания при неустойчивых однофазных к. з., но зато не обеспечивает автоматического перехода на работу двумя фазами.

11-6. ОАПВ ЛИНИЙ С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ

а) Избирательные органы

На одиночных транзитных линиях в сетях с глухозаземленной нейтралью применение ОАПВ позволяет во время цикла АПВ сохранить связь между частями

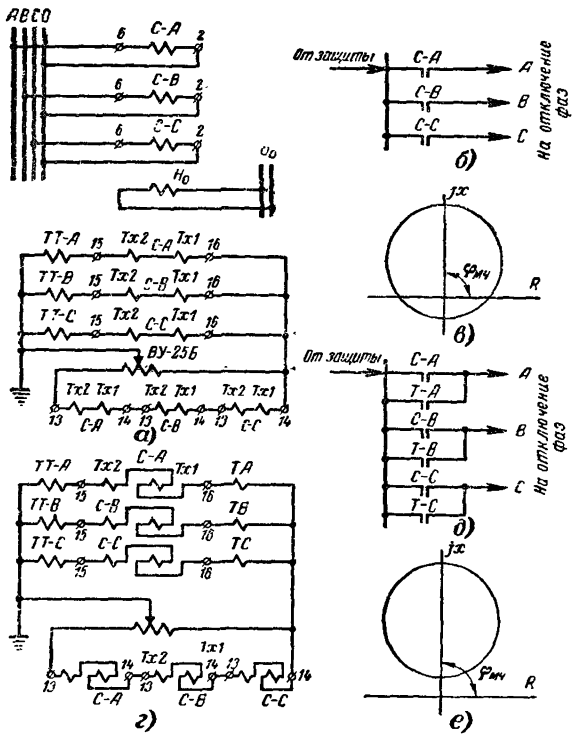


Рис. 11-20. Схема цепей переменного тока устройства ОАПВ с реле сопротивления типа КРС-111.

а и *б* — схема цепей переменного тока и включения контактов избирательных реле при *в*); *в* — характеристика КРС-111, охватывающая начало координат; *г* и *д* — схема цепей переменного тока и включения контактов избирательных реле при *е*); *е* — характеристика КРС-111, не охватывающая начало координат.

энергосистемы по двум неповрежденным фазам.

Избирательные органы, описанные в предыдущем параграфе, на линиях с двусторонним питанием обычно оказываются непригодными.

На указанных линиях получили распространение фильтровые, комбинированные фильтровые и дистанционные избирательные органы.

Первые два типа избирательных органов обеспечивают высокую чувствительность и быстродействие, но могут неправильно действовать в неполнофазных режимах, что вызывает необходимость усложнения их специальными блокировками и кратковременного вывода защит, действующих на отключение через устройство ОАПВ.

Сказанное, а также способность самостоятельно различать однофазные и двухфазные к. з. на землю определили преимущество дистанционных избирательных органов. Последние включаются на фазное напряжение и фазный ток, компенсированный током нулевой последовательности.

Коэффициент компенсации K определяется соотношением

$$K = \frac{z_{0л} - z_{1л}}{3z_{1л}}. \qquad (11\text{-}7)$$

Применение компенсации током $3I_0$ обеспечивает:

1) стабильность характеристик реле независимо от режима системы;

2) равенство сопротивлений на зажимах реле поврежденных фаз при однофазных и двухфазных замыканиях на землю полному сопротивлению прямой последовательности поврежденного участка;

3) охват больших переходных сопротивлений;

4) лучшие условия отстройки характеристик реле от качаний в неполнофазных режимах.

Однако при указанной схеме включения дистанционных избирательных органов, в качестве которых используется реле типа КРС-111 (рис. 11-20,*а*, *б* и *в*), возникают трудности в обеспечении избирательности действия реле неповрежденных фаз при однофазных к. з., сопровождающихся большими токами нулевой последовательности.

В этих случаях применяется схема включения токовых обмоток реле КРС-111, показанная на рис. 11-20,*г*. Характеристика при этом выносится за начало линии (рис. 11-20,*е*).

Для обеспечения действия избирателя на участке, не охваченном дистанционными реле, используются токовые реле (рис. 11-20,*г* и *д*).

В случае применения реле типа КРС-131, характеристика которого представляет собой окружность, проходящую через начало координат, также необходимо включение дополнительных токовых реле или реле напряжения (рис. 11-21). Данная схема, как и приведенная на рис. 11-20,*а*, не обеспечивает избирательность действия реле неповрежденных фаз при значительных $3I_0$. Поэтому условием ее применения является расчетная проверка влияния компенсации при к. з. в начале линии.

Если трансформаторы напряжения подключены к линии, то контакты реле сопротивления поврежденной фазы могут не размыкаться после ее отключения, так как напряжение, подводимое к реле, очень мало. Поэтому в этом случае дополнительно к схеме, приве-

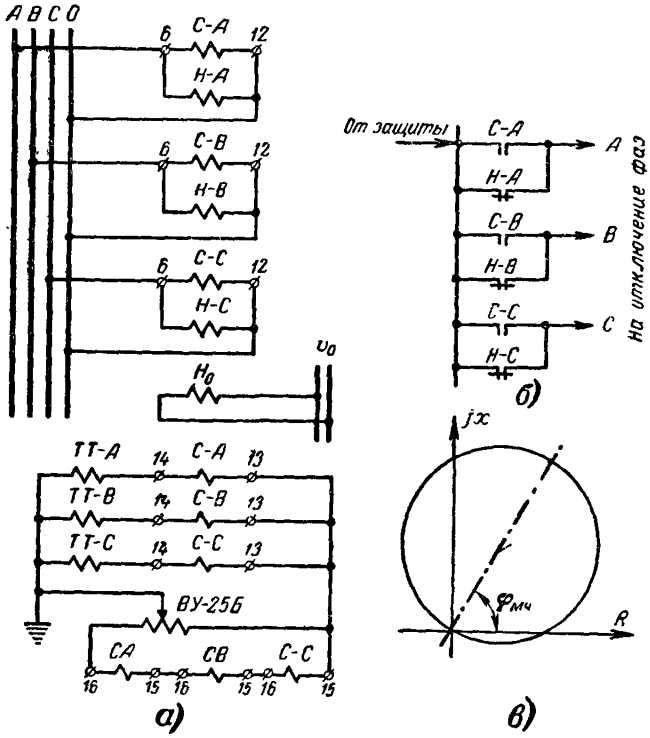


Рис. 11-21. Схема цепей переменного тока устройства ОАПВ с реле сопротивления типа КРС-131.

а — схема цепей переменного тока; *б* — схема включения контактов избирательных реле; *в* — характеристика реле КРС-131.

денной на рис. 11-21, предусматривается включение трех реле минимального тока, контакты которых включаются последовательно с контактами реле сопротивления.

Определение характеристик срабатывания избирательных органов дистанционного типа подробно рассмотрено в информационных материалах ВНИИЭ 1956 г.

б) ОАПВ линий 110—220 *кв* типа ОАПВ-3

На рис. 11-22 приведена схема цепей постоянного тока ОАПВ-3, разработанная ВНИИЭ.

При возникновении на линии однофазного к. з. и действии защиты (как не отстроенной, так и отстроенной от неполнофазных режимов) срабатывает и самоудерживается до возврата схемы реле *КР-1*.

Последнее дублирует защиту в подаче плюса, размыкает цепь реле *КР-4* и подготавливает цепь срабатывания реле *КР-2, КР-3, ЭП-6* и *ЭП-7*, а также цепь удерживания реле времени *ЭВ-1*, которая осуществляется через сопротивление *СД-4*. Предотвращение пуска реле времени контактом реле *КР-1* необходимо для повышения надежности действия схемы в случае отказа реле избирательного органа при однофазных и двухфазных замыканиях на землю.

Одновременно с защитой работает избирательное реле поврежденной фазы линии (*И-А, И-В* или *И-С*) и реле *ЭН-0*. Реле избирательного органа, сработав, приводит в действие отключающее реле поврежденной фазы линии (*КР-А, КР-В* или *КР-С*), которое пускает реле времени *ЭВ-1* и производит отключение выключателей соответствующей фазы линии, самоудерживаясь своими удерживающими обмотками до разрыва тока в цепях отключения блок-контактами выключателей, а также контактами реле *КР-3*.

Реле *КР-4*, отпадая с замедлением, закорачивает контакт реле *ЭН-0* и размыкает цепь реле *КР-5*.

Последнее имеет замедление на отпадание подвижной системы. Суммарное время замедления реле *КР-4* и *КР-5* принимается равным 0,5 *сек*.

Реле *КР-5* разделяет группы защит, отстроенных и не отстроенных от неполнофазных режимов, и переводит первые на отключение трех фаз линии помимо контактов реле избирательного органа.

По истечении выдержки времени проскальзывающего контакта реле времени *ЭВ-1* срабатывает реле *КР-3* и самоудерживается через замкнувшийся контакт реле *КР-1* до возврата схемы. Реле *КР-3* приводит в действие реле *КР-2* и размыкает цепь самоудерживания реле. Реле времени *ЭВ-1* продолжает работать, удерживаясь через контакт реле *КР-1* и сопротивление *СД-4*.

Реле *КР-2*, удерживаемое в положении срабатывания до возврата схемы, переводит защиты, отстроенные от неполнофазных режимов, на отключение трех фаз линии через реле *КР-А, КР-В* и *КР-С*. Одновременно реле *КР-2* вновь восстанавливает цепь самоудерживания отключающих реле, разорванную перед этим контактом реле *КР-3*. После срабатывания реле *КР-2* отключение трех фаз линии через $ЭП_{вых}$ может рассматриваться как резервирование отказов отключающих реле *КР-А, КР-В* и *КР-С*.

Реле *ЭП-6* и *ЭП-7*, подействовав при замыкании контактов реле *КР-2* и *КР-3*, производят включение поврежденной фазы линии.

В случае успешного включения схема устройства ОАПВ остается в таком положении до замыкания упорного контакта *ЭВ-1*, который, закорачивая обмотку реле *КР-1*, возвращает схему в исходное положение.

ОАПВ на устойчивое замыкание или повреждение оставшихся в работе фаз линии после замыкания проскальзывающего контакта *ЭВ-1* приводят к отключению линии тремя фазами и блокировке включающих реле *ЭП-6* и *ЭП-7*. Это обеспечивается действием защит, отстроенных от неполнофазных режимов или избирательных реле, благодаря объединению параллельных обмоток отключающих реле контактом реле *КР-2*. Одновременно замыкается цепь отключения трех фаз линии через реле $ЭП_{вых}$.

Реле *ЭП-6* и *ЭП-7* блокируются попарно соединенными контактами реле *КР-А, КР-В* и *КР-С*. При отказе реле *КР-2* указанная блокировка не действует, но тогда реле *ЭП-6* и *ЭП-7* вообще не работают. Для того чтобы при застревании контакта *КР-3* исключалась возможность срабатывания реле *ЭП-6* и *ЭП-7* при возврате схемы, в цепи последних предусмотрен контакт *КР-1*.

Однофазные замыкания на оставшихся в работе фазах линии до замыкания проскальзывающего контакта *ЭВ-1* приводят к таким же результатам. В этом случае после срабатывания избирательного реле второй поврежденной фазы и ее отключающего реле также будет образована цепь на срабатывание реле *КР-2* и блокировку включающих реле *ЭП-6* и *ЭП-7*.

В таком положении схема ОАПВ останется до возврата в исходное положение.

Аналогично действует схема и при возникновении на оставшихся в работе фазах двухфазных замыканий на землю, а также двухфазных к. з., при которых придет в действие хотя бы одно реле избирательного органа.

При отключении трех фаз линии от реле $ЭП_{вых}$ в момент, предшествующий замыканию проскальзывающего контакта реле *ЭВ-1*, срабатывание реле *КР-2* и блокировка реле *ЭП-6* и *ЭП-7* обеспечиваются замыканием контакта $ЭП_{вых}$, шунтирующего контакт *КР-3* в цепи обмотки реле *КР-2*. Возможное ТАПВ в случае, если при однофазном к. з. происходит неправильное отключение линии от резервных защит, предотвращается аналогично.

При отказе избирательного реле поврежденной фазы отключение всех фаз и предотвращение ТАПВ обеспечиваются реле *КР-4*. Замыкаясь с замедлением по отношению защиты линии, контакт КР-4 шунтирует контакт реле *ЭН-0*, размыкающийся при появлении напряжения нулевой последовательности, и включает реле *КР-2*. Дальнейшее действие схемы аналогично рассмотренному выше.

Замедление реле *КР-4* обеспечивает возможность каскадной работы реле избирательного органа после отключения однофазного к. з. с противоположного конца линии. Оно должно быть больше времени: отключения поврежденной фазы с противоположного конца линии, каскадного действия избирательных реле, срабатывания отключающих реле и размыкания мгновенного контакта *ЭВ-1*. В сумме необходимое замедление реле *КР-4* составляет 0,3—0,35 *сек*.

При двухфазных замыканиях на землю и одновременном действии избирательных реле обеих поврежденных фаз немедленно пускается реле *КР-2*, что приводит к отключению линии тремя фазами и блокировке реле *ЭП-6* и *ЭП-7*. Если вначале сработает только одно избирательное реле, то схема начнет работать, как при однофазном повреждении, а срабатывание второго избирательного реле будет аналогично возникновению повреждения на одной из оставшихся в работе фаз, что было рассмотрено выше.

При двухфазных и трехфазных к. з. действие схемы не зависит от поведения избирательных реле, так как реле *КР-2* срабатывает непосредственно от защит через замкнутый контакт *ЭН-0*. Независимость обеспечивается замедлением реле *КР-2* на отпадание. При отсутствии замедления был бы опасен разрыв цепи *КР-2* контак-

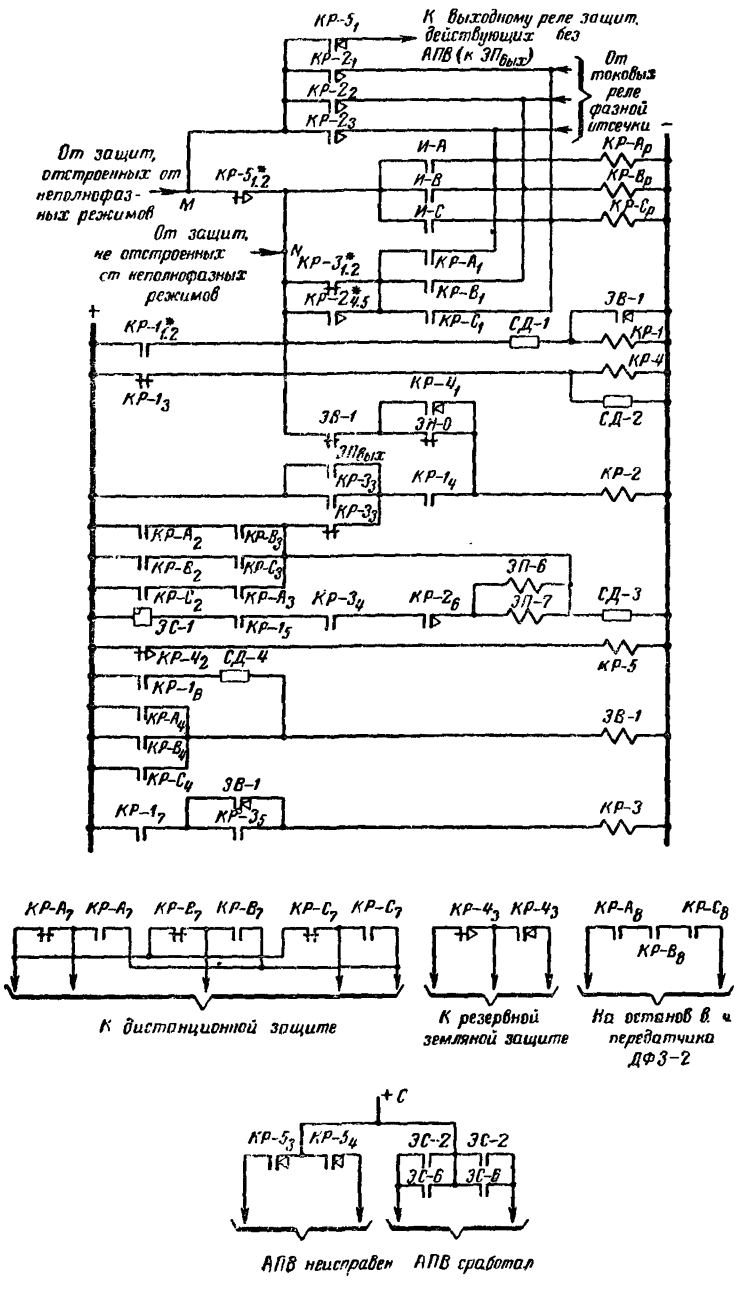


Рис. 11-22. Схема цепей постоянного тока устройства ОАПВ-3.
И-А, *И-В*, *И-С* — контакты реле избирательного органа; *КР-А*, *КР-В*, *КР-С* — отключающие реле поврежденных фаз типа КДР-1; *КР-1*, *КР-2*, *КР-3* — промежуточные реле типа КДР-1; *КР-4*, *КР-5* — промежуточные реле типа КДР-3М; *ЭП-6*, *ЭП-7* — включающие реле *РП-20*, $ЭП_{вых}$ — реле отключения трех фаз; *ЭВ-1* — реле времени; *ЭН-0* — реле напряжения типа ЭН-526.

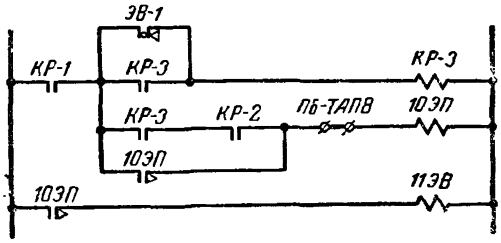


Рис. 11-23. Схема включения реле *10ЭП* и *11ЭВ* в устройстве КАПВ-3.

том *ЭВ-1*, до того как будет обеспечено удерживание реле *КР-2* контактами не менее чем двух отключающих реле.

С другой стороны, при отказе реле *КР-2* отключение трех фаз обеспечивается схемой включения дистанционных избирателей, которые надежно действуют при трехфазных и двухфазных замыканиях на землю. При близких двухфазных к. з. возможна работа только одного избирательного органа, но в этом случае отключение одной поврежденной фазы (при отказе *КР-2*) уже обеспечивает ликвидацию повреждения. Кроме того, в указанных случаях отключение трех фаз при отказе реле *КР-2* обеспечивается защитами, отстроенными от неполнофазных режимов через реле $ЭП_{вых}$, цепь которого замыкается с выдержкой времени порядка 0,5 *сек* (реле *КР-4* и *КР-5*).

АПВ отключенных фаз во всех рассмотренных случаях отказа реле *КР-2* не происходит, поскольку цепь реле *ЭП-6* и *ЭП-7* будет разомкнута контактом *КР-2*. Дополнительно при работе более чем двух реле избирательного органа обмотки реле *ЭП-6* и *ЭП-7* шунтируются попарно соединенными контактами отключающих реле.

в) ОАПВ линий 110—220 *кв* типа КАПВ-3

Для сочетания в одном устройстве функций ОАПВ и несинхронного ТАПВ использована следующая особенность схемы ОАПВ-3. При однофазных к. з. реле *КР-2* срабатывает позже реле *КР-3*, а при многофазных — наоборот. Комбинированное устройство типа КАПВ-3 получается путем добавления к схеме ОАПВ-3 реле 10ЭП с замедлением на возврат порядка 0,2 *сек* и реле времени *11ЭВ*.

Реле *10ЭП* (рис. 11-23) является пусковым органом, переключающим устройство на проведение ТАПВ, реле *11ЭВ* определяет выдержку времени ТАПВ. Кроме показанных на рис. 11-23, изменения в схеме ОАПВ-3 заключаются в следующем:

а) последовательно с контактами избирательных органов включен размыкающий контакт реле *10ЭП*, а между плюсом и контактами $ЭП_{вых}$ и *КР-3* (в цепи реле *КР-2*) включены соединенные параллельно контакт реле *11ЭВ* и размыкающий контакт *10ЭП*;

б) отсутствие реле *7ЭП*, так как в таком виде схема используется только при одном выключателе на линии.

Если линия оборудована двумя выключателями, то целесообразно при ОАПВ включать одновременно два выключателя поврежденной фазы, а при НАПВ — поочередно, причем в случае неуспешного АПВ первого выключателя блокировать включение второго. Изменение схемы для указанного случая показано на рис. 11-24.

Выдержка времени проскальзывающего и упорного контактов реле *12ЭВ* выбирается одинаковой и должна с запасом 0,3—0,5 *сек* перекрывать уставку реле *11ЭВ*, увеличенную на время, достаточное для надежного включения первого выключателя.

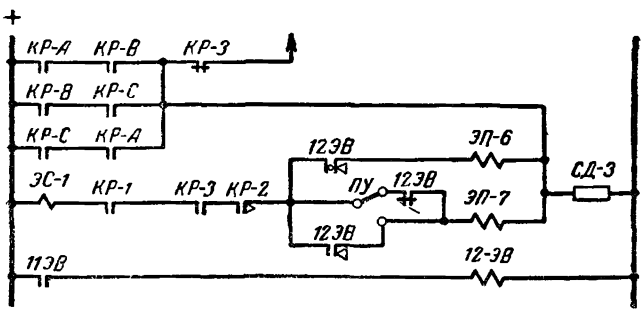


Рис. 11-24. Изменение схемы устройства КАПВ-3 для линий, оборудованных двумя выключателями.

г) ОАПВ линий 110—220 *кв* типа ОАПВ-4А

Рассмотренное ранее устройство ОАПВ-3 не позволяет осуществить длительную работу двумя фазами. В то же время такой режим, если он допустим, в ряде случаев является целесообразным и для линий с двусторонним питанием.

Для обеспечения автоматического перевода линии на режим работы двумя фазами изменены условия работы реле *КР-2* и *КР-5*. Первое к моменту начала ОАПВ объединяло в схеме ОАПВ-3 обмотки всех отключающих реле, а второе — несколько раньше замыканием контакта подготавливало цепь отключения трех фаз от защит, отстроенных от неполнофазных режимов.

Изменения (см. схемы ОАПВ-4А на рис. 11-25) потребовали добавления в схему ОАПВ-3 трех промежуточных реле и пятиполюсного переключателя, с помощью которого схема ОАПВ-4А может быть приведена к схеме ОАПВ-3.

д) ОАПВ линий 110—220 *кв* типа КАПВ-4А

На рис. 11-26 приведена универсальная схема КАПВ-4А (ВНИИЭ), сочетающая рассмотренные выше схемы. В случае устойчивых однофазных к. з. схема может производить либо отключение трех фаз, либо отключение поврежденной фазы с переходом на длительный неполнофазный режим в зависимости от положения переключателя ПБ-НР. Независимо от положения ПБ-НР действие устройства может быть дополнено трехфазным НАПВ переключением ПБ-ТАПВ.

Действие схемы КАПВ-4А происходит аналогично рассмотренным выше схемам ОАПВ.

11-7. АПВ ШИН, ТРАНСФОРМАТОРОВ И ДВИГАТЕЛЕЙ

а) АПВ шин

В зависимости от задач различают три вида АПВ шин:

1) обеспечивающее повторное включение шин под напряжение только от одной-двух питающих линий для восстановления питания потребителей подстанции;

2) автоматически восстанавливающее транзит мощности через шины подстанции повторным включением линий, входящих в транзит;

3) автоматически восстанавливающее нормальную схему подстанции включением всех отключившихся присоединений.

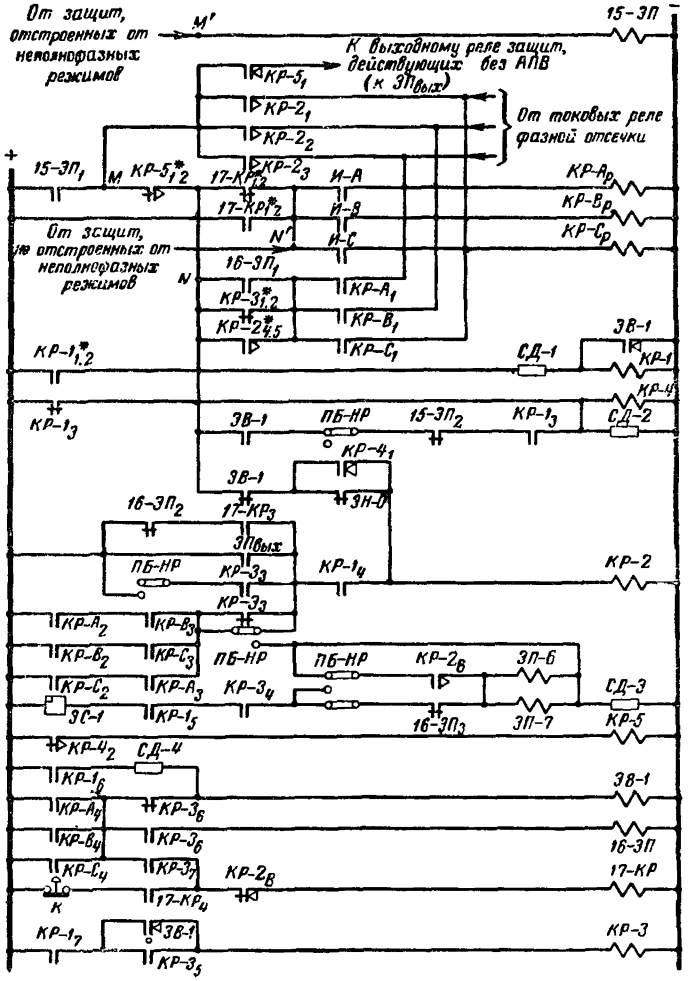


Рис. 11-25. Схема цепей постоянного тока устройства ОАПВ-4А.
15ЭП и *16ЭП* — промежуточные реле типа РП-20; *17КР* — промежуточное реле типа КДР-1; *ПБ-НР* — переключатель блокировки длительных неполнофазных режимов; *К* — кнопка деблокировки схемы; остальные обозначения на рис. 11-22.

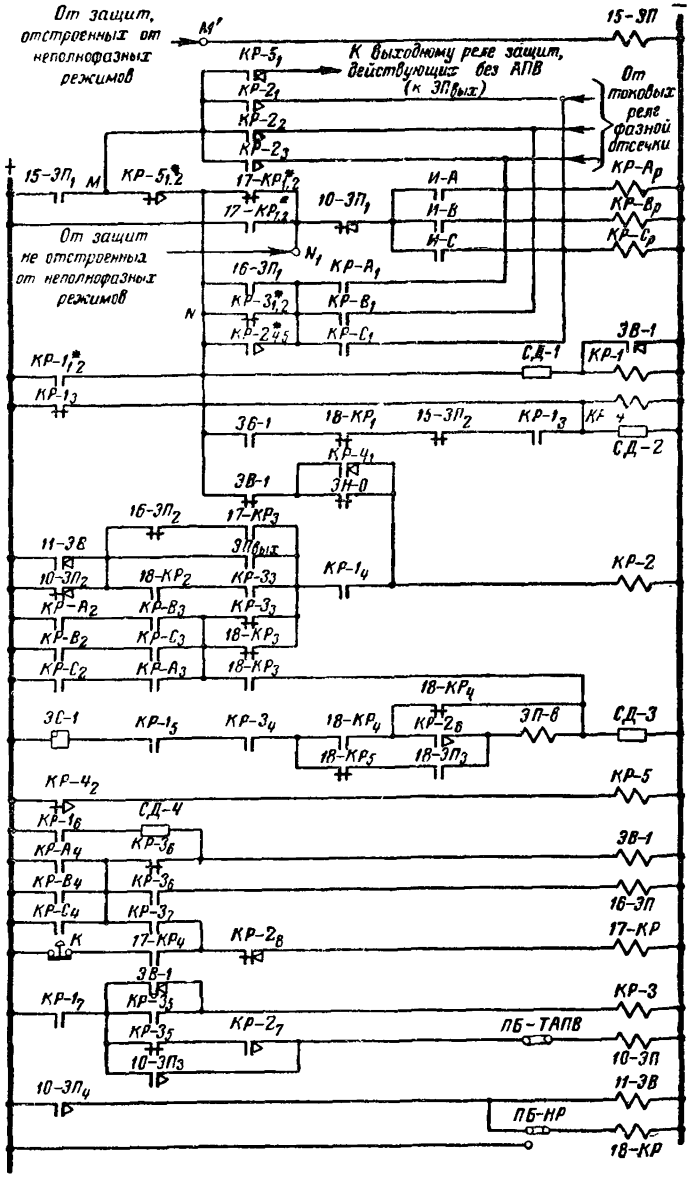


Рис 11-26 Схема цепей постоянного тока универсального устройства КАПВ-4А.
18КР — промежуточное реле типа КДР-1; остальные обозначения те же, что на рис. 11-22 и 11-25.

При отсутствии специальной защиты шин отключение повреждений, возникающих на шинах, производится линейными защитами противоположной стороны питающих линий. В этих случаях АПВ шин осуществляется с помощью устройств АПВ, установленных на противоположных концах линий, и поэтому никаких специальных устройств предусматривать не требуется.

Если к. з. на шинах отключается специальной защитой шин, например дифференциальной, то для АПВ шин используются устройства АПВ линий, установленные на данной подстанции, или применяются специальные устройства АПВ шин.

В первом случае при отключении выключателей линий защитой шин пускаются устройства АПВ этих линий (рис. 11-1). Защита шин при этом посылает импульс, запрещающий АПВ на устройства тех присоединений, повторное включение которых не предусматривается.

Если трансформаторы подстанций имеют питание со стороны обмоток среднего или низшего напряжения, то на их выключателях, установленных со стороны высшего напряжения и отключаемых защитой шин, также предусматриваются типовые устройства АПВ.

В тех случаях, когда на линиях осуществляется НАПВ, оно допустимо и при АПВ шин, но выдержки времени устройств АПВ линий необходимо при этом выбирать различными, сообразуясь с возможной перегрузкой аккумуляторной батареи.

Если НАПВ недолустимо и схемы АПВ присоединений выполнены с ожиданием или улавливанием синхронизма, то схема устройства АПВ выключателя, включаемого при АПВ шин первым, должна иметь контроль отсутствия напряжения на шинах. В противном случае устройства ожидания или улавливания синхронизма не разрешат включение. Контроль осуществляется с помощью реле напряжения, размыкающий контакт которого включается параллельно контакту реле контроля синхронизма (рис. 11-13).

При успешном АПВ первого выключателя разрешение включения выключателей остальных присоединений определяют устройства ожидания или улавливания синхронизма.

Таким образом предотвращается недопустимое включение на несинхронное напряжение, а в случае устойчивого к. з. на него включается только один выключатель.

Однако во избежание отказа АПВ шин при выводе в ремонт линии, снабженной АПВ с контролем отсутствия напряжения на шинах, такой контроль рекомендуется выполнять на нескольких линиях и выбирать на устройствах АПВ различные выдержки времени. При этом возможно включение второй линии на устойчивое к. з., но такое включение можно рассматривать как двукратное АПВ шин.

На подстанциях с большим числом присоединений, даже при допустимости включения на несинхронное напряжение, возникают трудности с выбором уставок устройств АПВ линий. Условия работы аккумуляторной батареи требуют различных выдержек времени, а это приводит к нежелательному увеличению выдержки времени действия АПВ шин и времени цикла АПВ при повреждении линий.

Поэтому Мосэнерго применяется схема устройства АПВ шин (рис. 11-27), в которой очередность включения присоединений достигается с помощью двухобмоточных промежуточных реле *ПО*.

Пуск схемы осуществляется контактами реле, включенных последовательно в цепи отключения присоединений защитой шин. При этом срабатывает и самоудерживается реле *1П*, которое контактом *1П-2* пускает реле времени *1В*. Последнее самоудерживается и с выдержкой времени, выбираемой так же, как на устройствах АПВ линий с односторонним питанием, замыкает проскальзывающий контакт *1В-3*. В результате действует реле *2П*, самоудерживается, размыкает цепь удерживания реле *1П*, включает первое реле очередности включения *1ПО* и замыкает цепь включения первого присоединения.

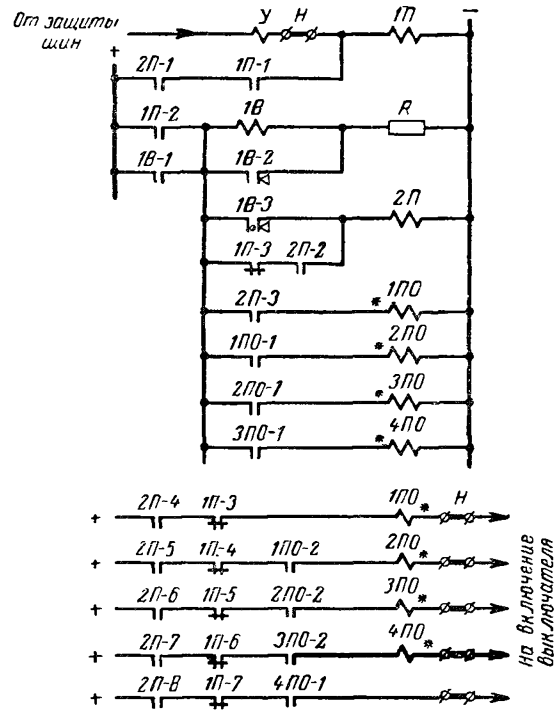


Рис. 11-27. Схема устройства АПВ шин.

Как видно из рис. 11-27, параллельная и последовательная обмотки реле *1ПО* обтекаются током в условиях встречной полярности, поэтому реле *1ПО* не срабатывает. Реле *1ПО* подействует, когда цепь включения первого присоединения будет разомкнута блок-контактом выключателя. Тогда замкнутся цепь включения второго присоединения и цепь параллельной обмотки реле *2ПО*.

Таким образом, последовательно будет осуществляться включение всех присоединений.

б) Устройства АПВ трансформаторов

Применяются несколько видов АПВ трансформаторов, отличающихся условиями пуска и блокировки схемы.

Наибольшее распространение имеют схемы АПВ с пуском от максимальной защиты и блокировкой действия при срабатывании дифференциальной и газовой защит. В таком виде схема представляет собой по существу АПВ шин низшего напряжения выключателями трансформатора. Недостатком схемы является отказ в действии при отключении, вызванном к. з. на выводах, в зоне дифференциальной защиты, а также при ложной работе дифференциальной и газовой защит.

Значительно реже на одиночно работающих трансформаторах, оборудованных быстродействующей защитой, применяется схема, имеющая пуск от всех защит и без какой-либо блокировки. Недостатком способа яв-

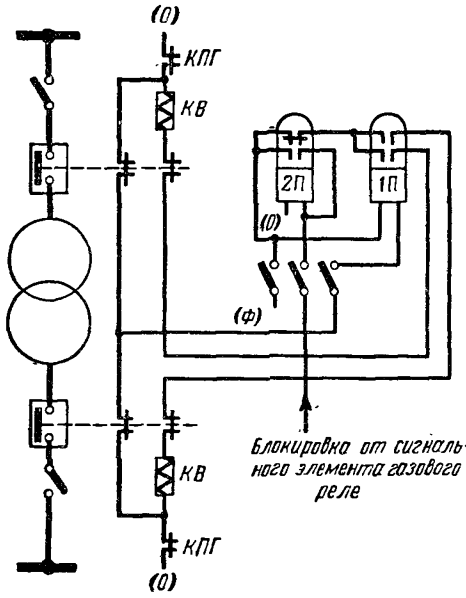


Рис. 11-28. Схема АПВ трансформатора при использовании грузовых приводов без автоматического подъема груза.

ляется вероятность увеличения объема ремонта в случае повторного включения поврежденного трансформатора под напряжение.

Недостатки указанных выше способов в значительной степени устраняет третий способ, в котором блокировка устройства АПВ осуществляется сигнальным элементом газовой защиты, который обычно действует при внутренних повреждениях, а пуск схемы имеет место при любом отключении выключателей. Целесообразность такого решения определяется тем, что ложная работа сигнального элемента маловероятна. Выполняются устройства АПВ трансформаторов так же, как устройства АПВ линий (рис. 11-1, 11-4 и 11-5).

На рис. 11-28 приведена простейшая схема АПВ одиночно работающего трансформатора для случая использования грузовых приводов без автоматического подъема груза. Действие схемы аналогично действию схемы АПВ линии (рис. 11-6).

в) Устройства АПВ двигателей

При недостаточной мощности трансформатора собственных нужд электростанции, когда он не может обеспечить самозапуск ответственных двигателей, приходится наряду с неответственными отключать и часть ответственных двигателей.

В этих случаях применяется автоматический повторный пуск ответственных двигателей, отключенных защитой минимального напряжения. Для указанной цели может быть использовано устройство АПВ (рис. 11-1,4) с добавлением реле напряжения, контакт которого, замкнутый при напряжении, близком к номинальному, включается последовательно в цепь обмотки реле времени *1В*.

При необходимости включения нескольких двигателей более простым решением является применение схемы рис. 11-29 (Мосэнерго). Однократность включения выключателей двигателей обеспечивается с помощью реле *2П* с замедлением на отпадание (РП-252). Удерживание реле *1П* через размыкающий контакт выходного промежуточного реле защиты минимального напряжения ($П_{вих}$) необходимо, чтобы предотвратить срабатывание включающего реле *3П* при восстановлении напряжения после кратковременных его посадок.

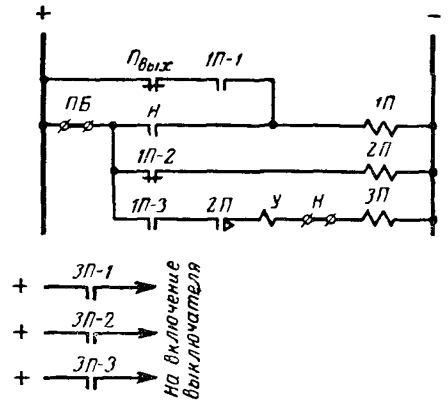


Рис. 11-29. Схема АПВ двигателей.

11-8. СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И УСТРОЙСТВ АПВ

а) Ускорение действия релейной защиты при АПВ

В сочетании с АПВ максимальная токовая отсечка может охватывать всю линию, включая шины приемной подстанции, благодаря чему эффективность ее значительно повышается. Помимо использования неселективных отсечек, широко применяют ускорение вторых и третьих ступеней максимальных и дистанционных защит, осуществляемое в сочетании с АПВ.

Ускорение действия защиты после АПВ заключается в том, что после избирательного отключения поврежденного участка и последующего срабатывания АПВ на некоторое время вводится в работу неселективная ускоренная защита, например неселективная токовая отсечка, благодаря чему обеспечивается отключение выключателя без выдержки времени в случае его повторного включения на устойчивое к. з.

Ускорение защиты осуществляется либо временным шунтированием контактов реле времени основной защиты, либо введением на некоторое время в действие отдельного комплекта токовых реле. Указанные операции осуществляются с помощью замыкающего контакта специального реле ускорения защиты *ПВ* (см. рис. 11-3 и § 11-2,а).

Токовые реле ускоренной защиты должны быть отстроены от пусковых токов двигателей нагрузки, затормозившихся в процессе к. з. По этим же соображениям в качестве выходного промежуточного реле ускоренной защиты не применяют быстродействующих реле.

Ускорение действия защиты до АПВ заключается в том, что на линии, кроме селективной защиты с выдержкой времени, иногда значительной, устанавливается неселективная ускоренная защита, например неселективная токовая отсечка, которая и производит первое отключение выключателя, после чего выводится из работы. Благодаря своему быстродействию она обеспечивает высокий процент успешности действия АПВ и сокращение перерыва в питании потребителей.

Если повреждение устойчивое, то вторичное отключение производится селективной защитой.

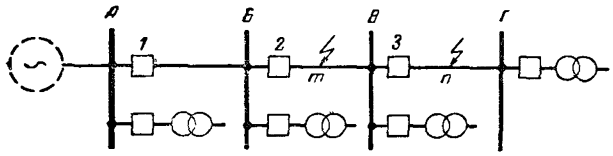


Рис. 11-30. Участок сети, защищенный неселективными отсечками в комбинации с поочередным АПВ.

При выборе тока срабатывания неселективной токовой отсечки должны быть обеспечены: надежный охват всего защищаемого участка при любых видах к. з. во всех режимах и надежная отстройка от повреждений за понижающими трансформаторами сети.

Ускорение действия защиты до АПВ принципиально может осуществляться так же, как и после АПВ. Однако благодаря особым условиям выбора тока срабатывания защиты, ускоренной до АПВ, часто используются специально устанавливаемые реле тока.

Неселективная отсечка может охватывать один, два и большее число смежных участков, при этом иногда можно ограничиться установкой устройства АПВ только на головной линии.

Вывод ускоренной до АПВ защиты осуществляется размыкающим контактом специального реле *ПВ* (см. рис. 11-2 и § 11-2,*а*).

Поочередное АПВ в сочетании с неселективными отсечками позволяет осуществлять быстродействующую защиту участка сети (рис. 11-30) как при неустойчивых, так и при устойчивых к. з. На линейных выключателях *1*, *2* и *3* устанавливаются неселективные отсечки, которые блокируются через 0,4—0,5 *сек* после срабатывания устройства АПВ того выключателя, на который действует данная отсечка. Токи срабатывания отсечек выбираются из условий обеспечения надежного охвата защищаемой линии и надежной отстройки от к. з. за понижающими трансформаторами. Выдержки времени устройств АПВ выбираются различными, возрастающими по мере удаления места установки выключателя от источника питания (рис. 11-30):

$$t_{ср3} = t_{ср2} + \Delta t = t_{ср1} + 2\Delta t, \qquad (11\text{-}8)$$

где Δt порядка 0,5—0,6 *сек*.

Рассмотрим действие защиты и автоматики при устойчивом к. з. в точке *m* на линии *БВ*. В этом случае приходят в действие отсечки, установленные на выключателях *1* и *2*, и оба выключателя отключаются. Для обеспечения надежного отключения выключателей выходные промежуточные реле, на которые действуют отсечки, должны иметь замедление на отпадание либо самоудерживание с помощью сериесных обмоток. Первым повторно включается выключатель *1*, имеющий меньшую выдержку времени АПВ ($t_{ср1}$). Так как он включается на исправную линию, то установленная на нем отсечка не действует.

Затем с выдержкой времени $t_{ср2}$ происходит АПВ выключателя *2* на устойчивое к. з. Отключение повреждения производится выключателем *2* в результате действия установленной на нем отсечки, так как отсечка выключателя *1* к этому времени уже выведена из работы. Отсечка выключателя *1* вводится снова с такой выдержкой времени, чтобы к этому моменту было обеспечено включение выключателя *II* и его вторичное отключение отсечкой в случае неуспешного АПВ.

Вывод и ввод в работу неселективной отсечки можно осуществить, используя два реле *ПВ* (см. рис. 11-2 и 11-3). Одно реле *ПВ*, включенное по схеме рис. 11-3, должно иметь замедление на возврат порядка 0,4—0,5 *сек*, а другое, включенное по схеме рис. 11-2 и осуществляющее ввод отсечки в работу после АПВ, — порядка 1—1,2 *сек*.

Для сокращения времени перерыва в питании потребителей необходимую очередность включения выключателей, особенно при большом числе участков, можно определять по появлению напряжения на шинах подстанций, не вводя дополнительных выдержек времени в устройства АПВ. Однако это осложняет схемы автоматики.

Поочередное АПВ фактически дает возможность применить одновременно ускорение и до АПВ и после АПВ.

Сочетание неселективной отсечки и многократного АПВ применяется с той же целью, что и поочередное АПВ. Для участка сети, приведенного на рис. 11-30, на выключателе *1* устанавливается устройство АПВ трехкратного действия, на выключателе *2* — двукратного и на выключателе *3* — однократного.

На всех выключателях имеются токовые отсечки, в зону действия которых входят смежные участки.

Рассмотрим к. з. в точке *n*, сопровождающееся действием отсечек и отключением выключателей *2* и *3* (принципиально возможно срабатывание отсечки и на выключателе *1*). В результате действия устройств АПВ включаются оба выключателя *2* и *3*, снова срабатывают отечки и вторично отключают выключатели.

Выключатель *3* больше не включится, так как на нем установлено устройство однократного АПВ.

Выключатель *2* будет включен устройством двукратного АПВ на исправную линию *БВ*.

Практически этот способ применяется для защиты двух последовательных участков.

б) Использование АПВ линий для осуществления защиты подстанций без выключателей на стороне высшего напряжения

На подстанциях без выключателей на стороне высшего напряжения при повреждении трансформаторов защита последних действует на отключение выключателя, установленного на низшем напряжении, и включение короткозамыкателя на стороне высшего напряжения. После этого к. з. отключается со стороны питания на подстанции *А* (рис. 11-31,*а* и *б*) или на подстанциях *А* и *Б* (рис. 11-31,*в*), а на подстанции *В* отделитель отсоединяет поврежденный трансформатор от сети.

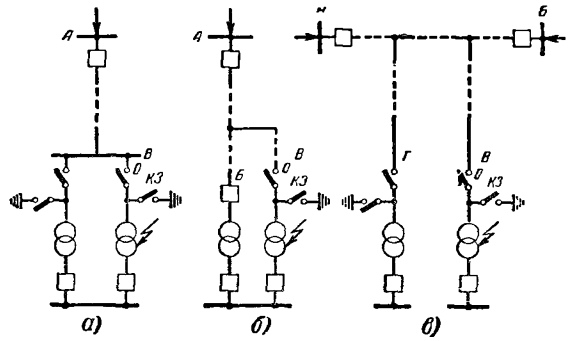


Рис. 11-31. Примеры использования АПВ линий для осуществления защиты подстанций без выключателей на стороне высшего напряжения.

В результате действия устройств АПВ выключателей, установленных со стороны питания, восстанавливаются энергоснабжение потребителей подстанции *В* (рис. 11-31,*д*) или нормальная схема сети и питание подстанции *Г* (рис. 11-31,*в*).

в) Использование сочетания релейной защиты с АПВ для ограничения токов короткого замыкания

В отдельных случаях, в процессе развития сетей ток к. з. может превышать предельно отключаемый ток какого-либо выключателя.

На рис. 11-32 показана подстанция, к которой подходит несколько линий. Все они по условиям режима работы сети нормально должны быть включены. При повреждении трансформатора его выключатель на стороне высшего напряжения должен отключать ток к. з., который превышает его предельно отключаемый ток. В этом случае на выключателе одной из линий $Л_1$ устанавливаются отсечка и АПВ. При к. з. в точке *m* в результате действии отсечки первым отключается выключатель *1*, ток к. з. снижается до допустимых пределов и выключатель трансформатора надежно отключает повреждение. Отключившийся неизбирательно выключатель *1* спустя некоторое время включается устройством АПВ. Отсечка выключателя *1* должна срабатывать при прохождении по линии $Л_1$ тока к. з., соответствующего прохождению через выключатель трансформатора, в режиме когда все линии включены, тока, равного 0,8—0,9 предельно отключаемого тока выключателя трансформатора. В быстродействующие защиты трансформатора следует при этом ввести замедление порядка 0,2—0,3 *сек*.

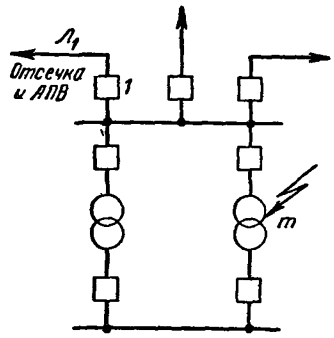


Рис. 11-32. Схема участка сети, где требуется ограничение тока к. з.

Аналогичное положение может иметь место с выключателями линий на стороне низшего напряжения; на одном из параллельно работающих трансформаторов устанавливаются неизбирательная отсечка и устройство АПВ.

РАЗДЕЛ ДВЕНАДЦАТЫЙ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЯ (АВР)

12-1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

а) Назначение АВР

Назначение АВР — быстрое восстановление энергоснабжения потребителей при отключении рабочего источника питания или находящегося в работе оборудования путем автоматического включения резервного источника питания или резервного оборудования.

Эффективность АВР определяется резким снижением времени перерыва в питании потребителей, а также возможностью секционирования кольцевых сетей. Последнее позволяет уменьшить значения токов к. з. и упростить релейную защиту.

б) Основные требования к АВР

1. Максимальное быстродействие.

2. Действие при отключениях рабочего источника питания или находящегося в работе оборудовании по любым причинам, в том числе и при к. з. на шинах, а также при ошибочных операциях персонала во время переключений, за исключением производимых средствами телемеханики.

3. Однократность действия и необходимая для надежного включения выключателей продолжительность включающего импульса.

4. Включение резервного источника на шины, потерявшие напряжение, как правило, после отключения выключателя рабочего источника питания.

5. Возможность взаимного резервирования рабочих трансформаторов (линий) при выводе в ремонт резервного трансформатора (линии) или при использовании его в качестве рабочего.

6. Наличие блокировки, предотвращающей одновременное включение нескольких выключателей, если это недопустимо по условиям работы источников питания приводов.

7. Наличие блокировки, разрешающей действие пуска минимального напряжения только при наличии напряжения на шинах резервного источника питания.

8. Пусковые органы минимального напряжения не должны срабатывать при перегорании одного предохранителя в цепях напряжения.

9. Наличие сигнализации в случаях срабатывания АВР, исчезновения оперативного напряжении в его цепях, отсутствия напряжении на источнике резервного питания и обрыва цепи реле, контролирующего наличие напряжения на этом источнике.

в) Применение АВР

1. АВР должны устанавливаться, если отключение рабочего источника питания приводит к обесточению собственных нужд или потребителей, а также когда отключение одного источника питания приводит к недопустимой перегрузке источника, оставшегося в работе.

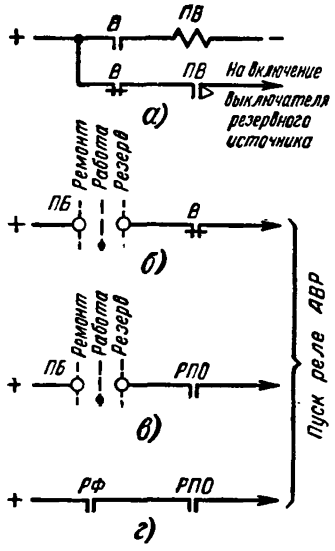


Рис. 12-1. Варианты выполнения основного пуска схем АВР.

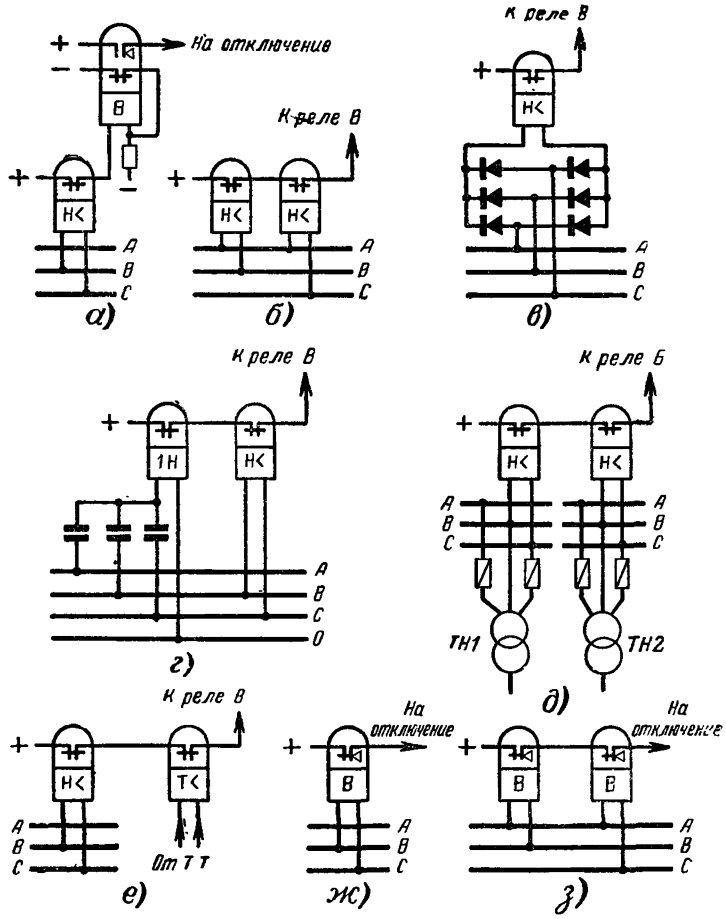


Рис. 12-2. Варианты выполнения пуска минимального напряжения.

При недостаточной мощности резервного или оставшегося в работе источника следует применять аварийную разгрузку.

2. Пусковые органы минимального напряжения следует применять в тех случаях, когда возможно исчезновение напряжения на шинах рабочего источника, не связанное с отключением выключателей в данной электроустановке, а также когда обеспечение пуска АВР при отключении каждого выключателя всех питающих элементов данной электроустановки приводит к значительному усложнению схемы.

3. При отсутствии специального резервного трансформатора рекомендуется наряду с АВР предусматривать повторное включение трансформаторов, отключенных защитой шин низшего напряжения (АПВ шин). В случае применения на напряжении 3—10 *кв* комплектного РУ вероятность к. з. на шинах резко снижается и АПВ шин не предусматривается.

4. АВР должны устанавливаться на двигателях ответственных механизмов собственных нужд станций для обеспечения надежной работы этих механизмов без применения неэкономичного режима постоянного дублирования.

г) Способы пуска АВР

1. Основным является пуск при несоответствии положений выключателя и ключа управления.

Наиболее часто применяется схема пуска, указанная на рис. 12-1,*а*. Здесь контакт реле *ПВ* после отключения выключателя и до возврата якоря реле в исходное положение образует вместе с блок-контактом выключателя цепь, по которой осуществляется подача включающего импульса. Продолжительность импульса определяется временем возврата реле *ПВ*, которая принимается равной 1,5—2 $t_{в.в}$. В качестве последнего может быть использовано реле *РПВ*, которое должно иметь замедление на возврат.

На рис. 12-1,*б*, *в* и *г* приведены схемы, где роль контакта ключа управления в цепи несоответствия выполняет режимный переключатель *ПБ* (рис. 12-1,*б* и *в*) или контакт реле фиксации положения выключателя *РФ* (рис. 12-1,*г*), а роль блок-контакта выключателя — контакт реле *РПО* (рис. 12-1,*в* и *г*).

В этих схемах по цепи несоответствия осуществляется пуск включающего реле АВР, общего для всех присоединений, на выключатели которых действует автоматика.

2. В качестве дополнительного пуска АВР применяется пуск минимального напряжения.

Уставка реле напряжения выбирается обычно порядка 20—30% $U_н$, благодаря чему обеспечивается отстройка от удаленных к. з., отключаемых со значительной выдержкой времени. Для отстройки от к. з., при которых остаточное напряжение на шинах рабочего источника менее 20—30% $U_н$, используется реле времени.

На рис. 12-2 приведены варианты выполнения пуска минимального напряжения.

Простейшей является схема рис. 12-2,*а*, однако она, как правило, не применяется, так как действует ложно при перегорании одного предохранителя в цепи напряжения. Применение двух реле (рис. 12-2,*б*) более надежно; здесь ложное срабатывание возможно только при перегорании двух предохранителей. Аналогичные условия получаются и в случае применения одного

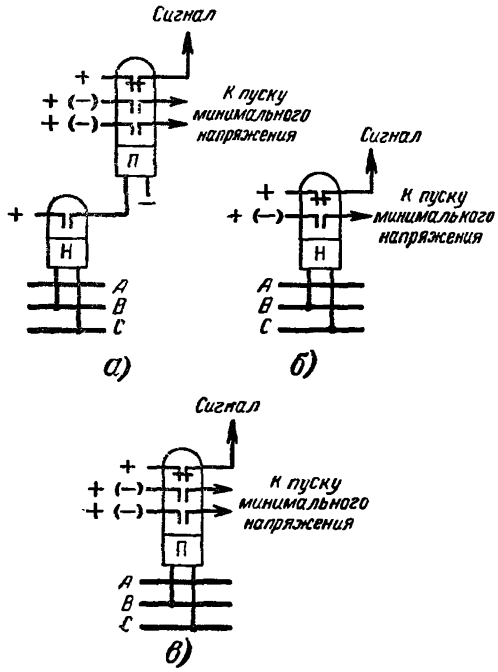


Рис. 12-3. Варианты схем контроля наличия напряжения на шинах резервного источника.

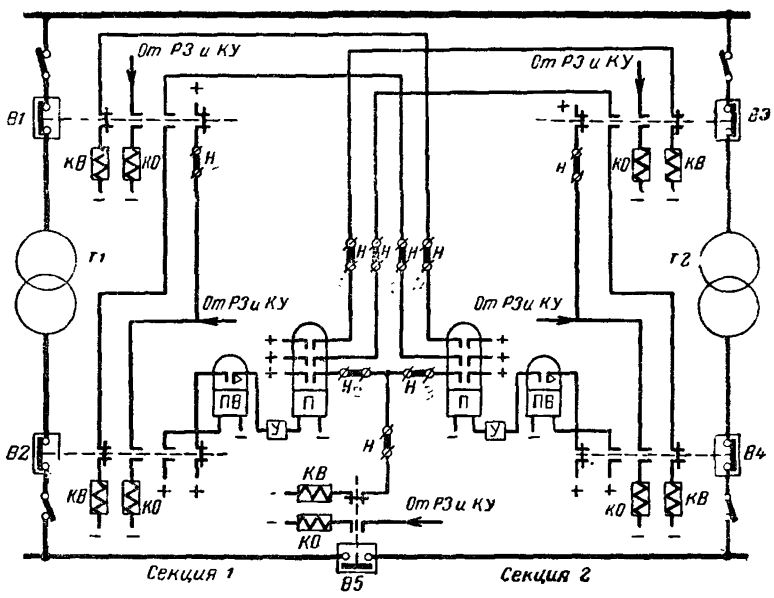


Рис. 12-4. Схема АВР трансформаторов, питающихся с общих шин высшего напряжения.

трехфазного реле напряжения, например на полупроводниковых выпрямителях (рис. 12-2,*в*).

Схема рис. 12-2,*г*, в которой используется реле контроля исправности цепей напряжения, не дает ложных срабатываний при перегорании двух предохранителей (и даже трех) при включении параллельно одному из предохранителей емкости. Наиболее надежными являются схемы, приведенные на рис. 12-2,*д* и *е*, в которых используется либо второй трансформатор напряжения, либо реле минимального тока. Уставка последнего выбирается из условий отстройки от минимального тока нагрузки.

Схема пуска может быть упрощена за счет применения реле времени переменного тока типа ЭВ-235. На рис. 12-2,*ж* и *з* в качестве примера показана схема рис. 12-2,*а* и *б* при использовании реле ЭВ-235. Применение в цепях напряжения вместо предохранителей трехфазного автомата, контакт которого включается последовательно в цепь отключения, делает схемы рис. 12-2,*а* и *ж* равными по надежности приведенным на рис. 12-2,*б*,*в*,*г*, и *з*.

3. Контроль наличия напряжения на шинах резервного источника питания осуществляется по схемам рис. 12-3. Если устройство АВР питается от трансформатора напряжения, включенного на резервный источник, то необходимость контроля отпадает.

На рис. 12-3,*в* дан вариант использования промежуточного реле РП-25, преимущество которого в резком снижении вибрации контактов.

12-2. АВР ТРАНСФОРМАТОРОВ

а) АВР трансформаторов, питающихся с общих шин высшего напряжения

При трех основных режимах работы подстанции схемой (рис. 12-4) предусматриваются следующие автоматические действия:

1. Трансформаторы работают на секции *1* и *2* раздельно, секционный выключатель *В5* отключен; при отключении по любой причине одного из трансформаторов АВР включает выключатель *В5*.

2. Трансформаторы работают параллельно, выключатель *В5* включен, при к. з. на одной из секций отключается трансформатор данной секции и выключатель *В5*, АВР включает снова выключатель *В5*.

3. В работе находится один трансформатор, другой в резерве, выключатель *В5* включен; при отключении рабочего трансформатора по любой причине АВР включает резервный трансформатор. В этом режиме схема не обеспечивает действие автоматики при отключении выключателя *В5* по любой причине.

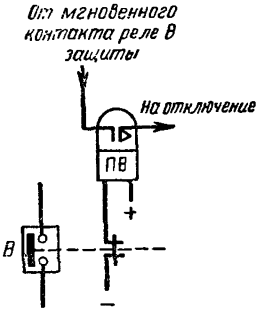


Рис. 12-5. Схема ускорения действия релейной защиты после АВР.

Во избежание последующего повторного АВР поврежденного трансформатора накладки *Н* в цепях включения должны находиться в таком положении, чтобы обеспечить только те операции включения, которые предусмотрены в данном режиме подстанции. Накладки могут быть заменены общим режимным переключателем.

Если времена действия максимальных защит трансформаторов и секционного выключателя превышают 0,5 *сек*, рекомендуется применять на выключателях *В2*, *В4* и *В5* ускорение действия защиты, которое осуществляется, как показано на рис. 12-5. В качестве реле *ПВ* может быть использовано реле контроля *РПО*, если оно имеет замедление на возврат. При этом реле тока максимальной защиты должны быть отстроены от пусковых токов двигателей нагрузки, затормозившихся в процессе к. з., и от токов несинхронного включения, если напряжение на шинах не успевает к моменту включения резервного источника снизиться до нуля.

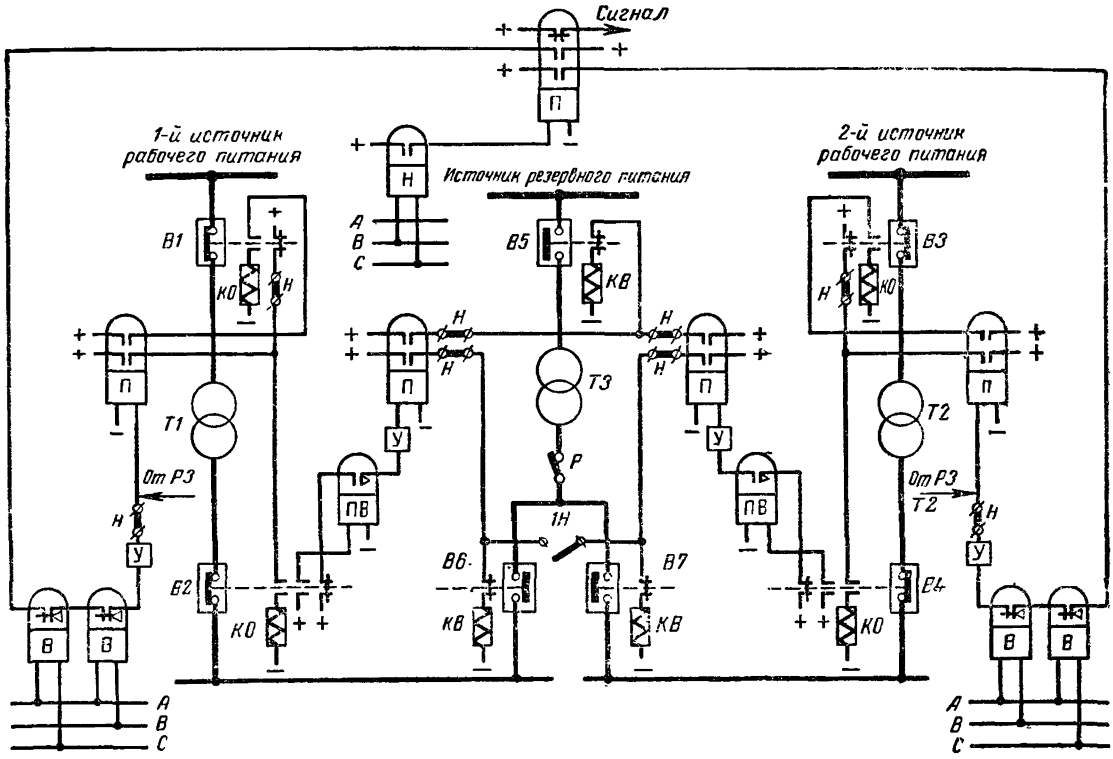


Рис. 12-6. Схема АВР трансформаторов, питающихся от разных источников.

В тех случаях, когда на шинах низшего напряжения включены синхронный компенсатор или линия, имеющая связь с другим источником питания, схема АВР должна отключить синхронный компенсатор или снять с него возбуждение (при этом рекомендуется автоматически подавать возбуждение после успешного АВР) и отключить линию (рекомендуется последующее АПВ линии, если вероятность несинхронного включения отсутствует или оно допустимо). Для обеспечения большей надежности в цепи включения выключателей от АВР иногда включают размыкающий блок-контакт выключателя синхронного компенсатора или линии, имеющей связь с другим источником питания.

Схема рис. 12-4 (так же как рассмотренные ниже схемы рис. 12-6 и 12-9) может быть упрощена за счет использования вместо реле *ПВ* и блок-контактов выключателей реле цепей управления *РПВ* и *РПО*.

б) АВР трансформаторов, питающихся от разных источников

Схема АВР собственных нужд электростанции (рис. 12-6) предусматривает действие автоматики в следующих режимах работы схемы собственных нужд:

1. Трансформаторы *Т1* и *Т2* в работе, трансформатор *Т3* в резерве, выключатели *В5, В6* и *В7* отключены; при отключении по любой причине одного из рабочих трансформаторов АВР включает выключатели *В5* и *В6* или *В5* и *В7*.

2. Трансформаторы *Т1* и *Т2* в работе, трансформатор *Т3* отключен для ремонта, выключатели *В6* и *В7*, а также разъединитель *Р* отключены; при отключении по любой причине одного рабочего трансформатора АВР включает выключатели *В6* и *В7* (в этом режиме накладка *1Н* должна быть замкнута).

3. Трансформаторы *Т1* и *Т3* в работе, трансформатор *Т2* отключен для ремонта, выключатели *В3, В4* и *В6* отключены, выключатель *В7* включен; при отключении по любой причине трансформатора *Т1* АВР включает выключатель *В6*. Недостаток схемы—не обеспечивается АВР при отключении резервного трансформатора *Т3*, являющегося в данном режиме рабочим.

Ускорение действия защиты после АВР выполняется согласно рис. 12-5.

Приведенные на рис. 12-4 и 12-6 схемы АВР могут применяться для различных схем коммутации собственных нужд станции, например для показанной на рис. 12-7. Здесь предусмотрены два резервных трансформатора, каждый из которых резервирует свою группу рабочих трансформаторов. На резервных трансформаторах имеются переключатели, с помощью которых в случае ремонта данного трансформатора функции

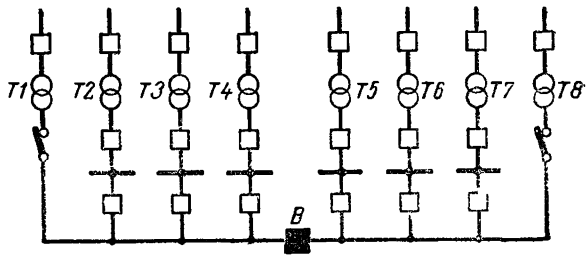


Рис. 12-7. Вариант схемы собственных нужд станции.

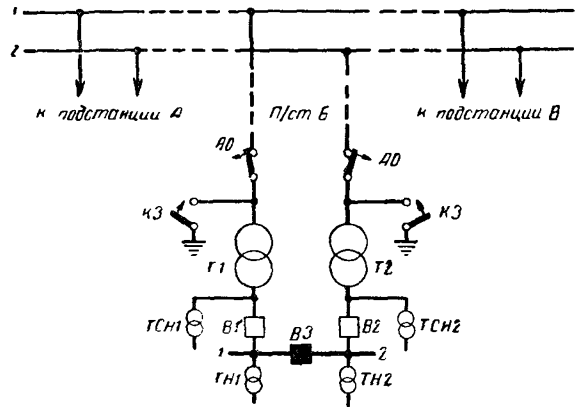


Рис. 12-8. Схема подстанции, на которой желательно автоматическое восстановление нормальной схемы после действия АВР, вызванного временным исчезновением напряжения на линии.

резервирования передаются на другой резервный трансформатор. Выключатель *В* в этом режиме включается. При этом, если после нескольких срабатываний АВР нагрузка резервного трансформатора не позволяет использовать его для дальнейшего резервирования рабочих трансформаторов, персонал выводит их из схемы автоматики.

Схема АВР подстанции с двумя трансформаторами, не имеющими выключателей на стороне высшего напряжения

Из-за невозможности вывода трансформаторов в резерв схема предусматривает только включение секционного выключателя *В3*, причем если действие АВР было вызвано исчезновением напряжения на питающей линии (рис. 12-8), то обеспечивается восстановление нормальной схемы подстанций после ликвидации аварии на линии.

На рис. 12-9 приведена схема АВР (ВГПИ ТЭП) при использовании на подстанции пружинных приводов с АМР и переменного оперативного тока (от трансформатора собственных нужд). Цепи секционного выключателя *В3* показаны на рис. 12-9,*а*, выключателя *В1* — на рис. 12-9,*б*. Схема цепей выключателя *В2* такая же, как для выключателя *В1*.

Пусковой орган минимального напряжения каждого трансформатора выполнен с помощью двух реле времени *2В* и *3В* типа ЭВ-235, включенных на линейное напряжение трансформатора собственных нужд и трансформатора напряжения секции. Таким образом, пусковой орган контролирует напряжение до и после выключателей трансформаторов *Т1* и *Т2*.

Включение выключателя *В3* производится непосредственно блок-контактами выключателей *В1* и *В2* рабочих трансформаторов.

Для предотвращения многократного включения секционного выключателя в цепи АМР привода предусмотрены контакты реле положения «включено» выключателей *В1* и *В2*. Привод будет подготовлен к последующему включению только после того, как оба указанных выключателя будут включены. При необходимости пружины привода могут быть заведены изменением положения накладки *1Н*.

При отключении одной из питающих линий, например линии *1*, подействуют АВР на подстанциях *А*, *Б* и *В* (рис. 12-8). После ликвидации повреждения линия *1* будет вновь поставлена под напряжение. При этом на трансформаторах собственных нужд *ТСН1*

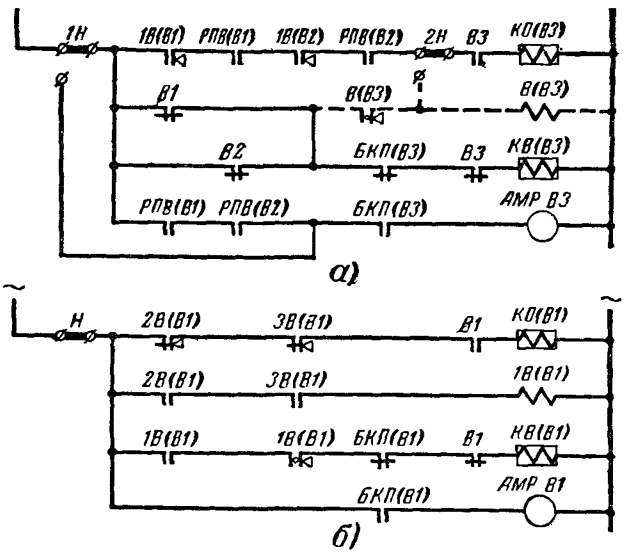


Рис. 12-9. Схема АВР для подстанции с пружинными приводами (АМР) и на переменном оперативном токе.
а — цепи выключателя *В3* (рис. 12-8); *б* — цепи выключателя *В1* (*В2*).

подстанций *А*, *Б* и *В* появится напряжение (на первых секциях подстанций *А*, *Б* и *В* напряжение восстановилось ранее, в результате действия АВР). Тогда контакты реле *2В* (*В1*) и *3В* (*В1*) замкнут цепь реле времени *1В* (*В1*) (в скобках указана принадлежность данного реле к цепям выключателя *В1*).

Реле *1В* (*В1*) типа ЭВ-248 своим проскальзывающим контактом включает выключатель *В1*, а мгновенный контакт *1В* (*В1*) предотвращает посылку включающего импульса при замыкании проскальзывающего контакта в процессе возврата реле *1В* (*В1*).

Для полного восстановления нормальной схемы подстанции необходимо отключить выключатель *В3*. Это достигается с помощью реле *1В* (*В1*) и *1В* (*В2*), контролирующих наличие напряжения на линиях и на соответствующих секциях, а также реле *РПВ* (*В1*) и *РПВ* (*В2*), контролирующих включенное положение выключателей *В1* и *В2*.

Аналогично будет происходить восстановление нормальной схемы подстанции и после успешного АВР секционного выключателя при неустойчивом к. з. на секции низшего напряжения.

В режиме параллельной работы трансформаторов на стороне низшего напряжения на подстанциях должна вводиться поперечная дифференциально-направленная защита, отключающая выключатель *В3* при к. з. на питающих линиях.

Если повреждение произошло на линии *1* и первый цикл АПВ линии оказался неуспешным, то пуском минимального напряжения будет отключен и выключатель *В1*. После восстановления на линии *1* напряжения выключатель *В1* будет снова включен, как указано выше.

Для включения секционного выключателя *В3* в схеме (рис. 12-9,*а*) предусмотрены специальное реле времени *В* (*В3*) и накладка *2Н*. Цепи, необходимые для востановления режима параллельной работы трансформаторов, показаны на рис. 12-9,*а* пунктиром.

В случае успешного АВР при неустойчивом к. з. на секции восстановление нормальной схемы достигается включением выключателя трансформатора, отключенного защитой шин.

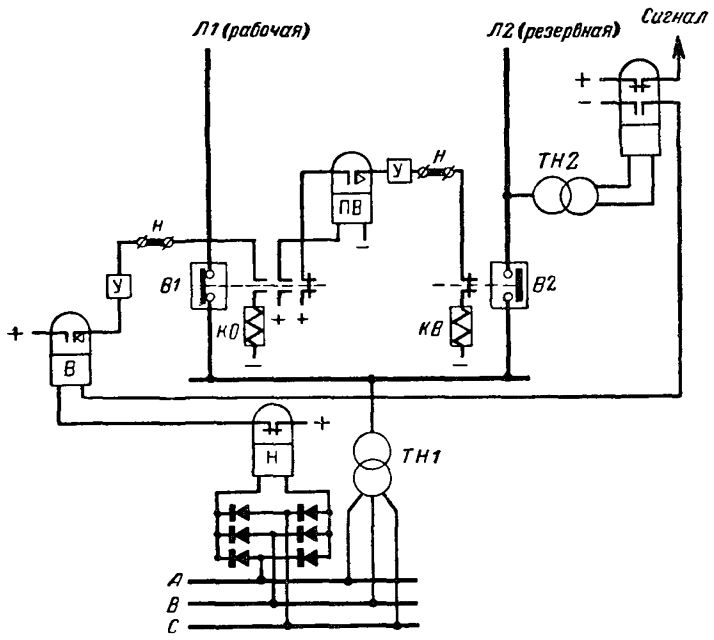


Рис. 12-10. Схема АВР линии, обеспечивающего резервирование питания данной подстанции.

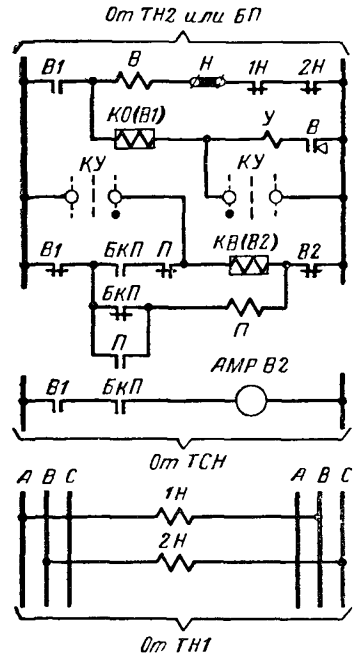


Рис. 12-11. Схема АВР линии для подстанций с пружинными приводами (с АМР) и на переменном оперативном токе.
БКП — блок-контакт привода.

12-3. АВР ЛИНИЙ

а) АВР линий, обеспечивающее резервирование питания на данной подстанции

Схема АВР для подстанций с постоянным оперативным током (рис. 12-10).

Действие схемы на рис. 12-10 аналогично действию описанных выше схем (рис. 12-4 и 12-6).

Если выдержка времени защиты линии *2* на питающей подстанции более 0,5 *сек*, на выключателе *В2* целесообразно предусматривать ускорение действия защиты после АВР (рис. 12-5).

В случае, когда в качестве рабочих могут использоваться поочередно обе линии, схемы должны выполняться двустороннего действия, чтобы обеспечить АВР при любом режиме питания подстанции.

Схема АВР на переменном оперативном токе для подстанций, оборудованных пружинными или грузовыми приводами с АМР. Питание схемы (рис. 12-11) осуществляется либо непосредственно от трансформатора напряжения, установленного на резервной линии, либо через блок питания (*БП*). В первом случае вторичные цепи трансформатора напряжения должны заземляться через пробивной предохранитель, чтобы исключить возможность ложной работы схемы при замыканиях на землю во вторичных цепях.

Принятая схема питания оперативных цепей обеспечивает одновременно и контроль наличия напряжения на резервном источнике питания.

Питание АМР приводов осуществляется от трансформатора собственных нужд (*ТСН*).

Пуск минимального напряжения в данной схеме выполнен по схеме, аналогичной приведенной на рис 12-2,*б*, а для обеспечения однократности действия при отказе замыкающего блок-контакта выключателя *В1*, в отличие от схемы рис. 12-9, дополнительно применено реле *П*.

б) АВР линий, обеспечивающие резервирование питания двух подстанций

На рис. 12-12 показан участок сети, где питание подстанций *А* и *В* осуществляется нормально по линиям *Л1* и *Л3*. При отключении линии *Л1* схема АВР действует так же, как схемы, рассмотренные выше (рис. 12-10 и 12-11). Если исчезнет напряжение на подстанции *В*, то в результате действия защиты минимального напряжения (на этой подстанции) отключится выключатель *В3*, а на подстанции *А* подействует пуск минимального напряжения, включенный на трансформатор напряжения *ТН2*. АВР подстанции *А*

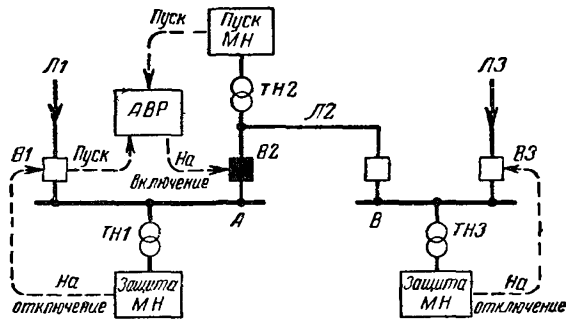


Рис. 12-12. Схема действия АВР линии, обеспечивающего резервным питанием две подстанции.

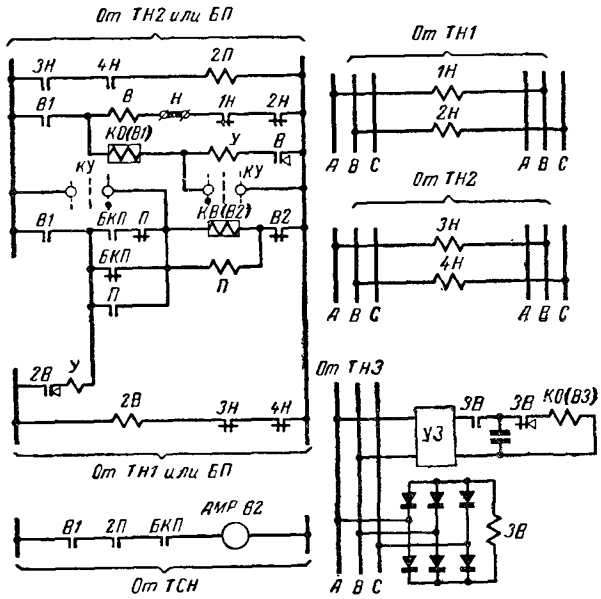


Рис. 12-13. Схема АВР линии, обеспечивающего резервирование двух подстанций *А* и *В* (рис. 12-12).

обеспечивает включением выключателя *В2* резервирование питания подстанции *В*.

Схема АВР (рис. 12-13) отличается от схемы рис. 12-11 только добавлением второго пуска минимального напряжения (*3Н*, *4Н* и *2В*), а также реле *2П*, разрешающего автоматический завод пружины (груза) только при наличии напряжения на линии *Л2*. Питание защиты минимального напряжения и цепи отключения выключателя *В3* подстанции *В* осуществляется от трансформатора напряжения *ТН3*, причем последние—через зарядное устройство *УЗ*.

Отметим, что иногда применяют схемы, где отключение выключателя *В3* производится только при устойчивом к. з. на линии *Л3* направленной токовой отсечкой после срабатывания АВР и включения выключателя *В2*.

12-4. УНИФИЦИРОВАННАЯ СХЕМА АВР ДЛЯ ТЕЛЕМЕХАНИЗИРОВАННЫХ ПОДСТАНЦИИ

На рис. 12-14,*а* приведена схема управления секционным выключателем *В5* (рис. 12-4). В схеме наряду с обычно применяемыми реле положения выключателя *РПО* (*В5*) и *РПВ* (*В5*) использовано реле фиксации положения выключателя *РФ* (*В5*) (§ 11-2,*в*). Реле *РФ* (*В5*) обесточивается, и цепи несоответствия не создается при отключении выключателя устройством телеуправления [*У* (*В5*) и *РТО* (*В5*)].

Контакт переключателя автоматики *ПБ* (рис. 12-14,*а*) является элементом схемы АВР. Его назначение—предотвращать отпадание реле *РФ* (*В5*) при отключении выключателя *В5* ключом управления, с тем чтобы обеспечить действие АВР, если отключение было ошибочным.

Реле *РУ* (*В5*) типа РП-252 с замедлением на возврат предназначено для ускорения действия релейной защиты и действует аналогично реле *ПВ* в схеме рис. 12-5. Отличие состоит в том, что здесь при включении выключателя обмотка реле *РУ* (*В5*) не отключается, а шунтируется контактом *РПВ* (*В5*).

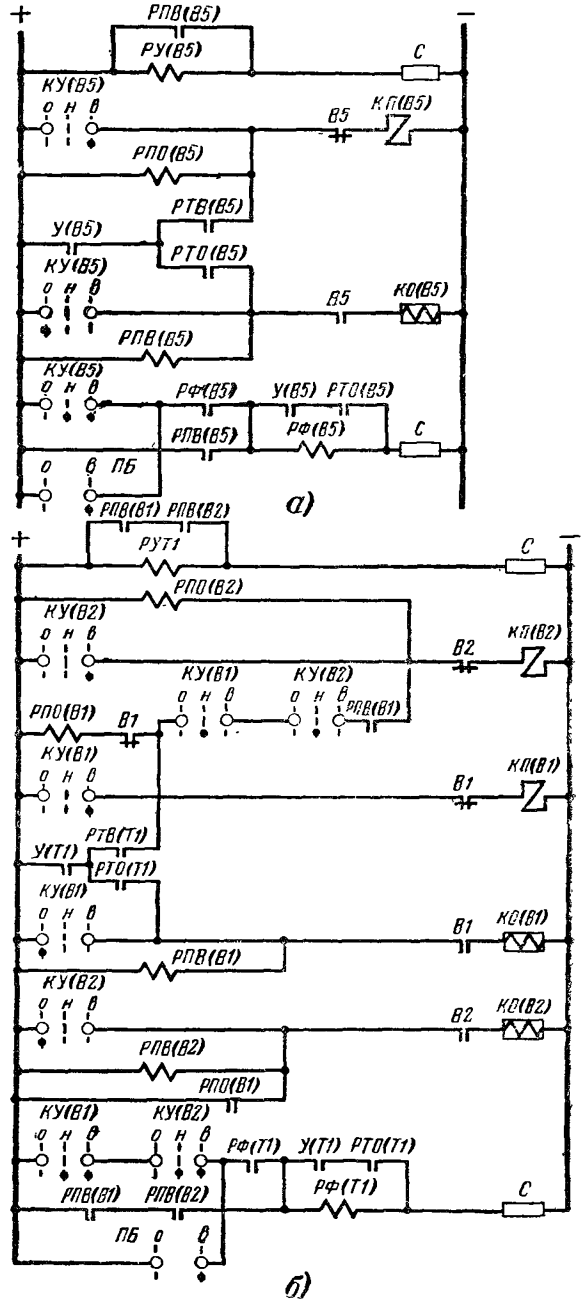


Рис. 12-14. Схемы управления выключателями.
а — секционным выключателем *В5* (рис. 12-4); *б* — выключателями *В1* и *В2* трансформатора.

Схема цепей управления выключателями трансформаторов, например выключателями *В1* и *В2* трансформатора *Т1*, приведена на рис. 12-14,*б*. Здесь для уменьшения числа телекоманд предусмотрены следующие блокировки: при отключении выключателя *В1* контактом *РПО* (*В1*) осуществляется отключение выключателя *В2*, а при включении выключателя *В1* в результате действия автоматики или по телекоманде контактом *РПВ* (*В1*) обеспечивается включение выключателя *В2*.

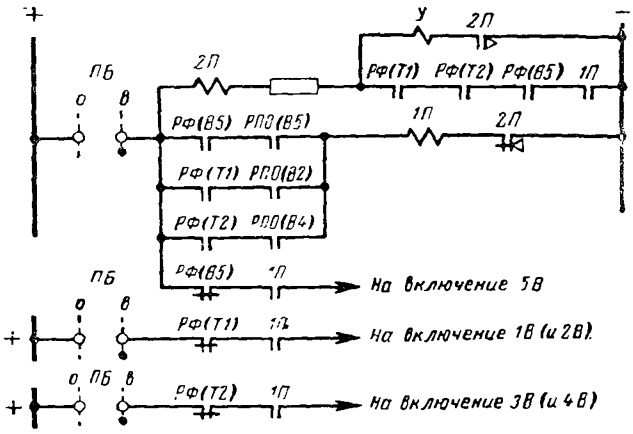


Рис. 12-15. Унифицированная схема АВР двухтрансформаторной подстанции (ВГПИ ТЭП).

Таким образом, при телеуправлении и при АВР выключатели трансформаторов включаются разновременно, что обеспечивает уменьшение толчка тока аккумуляторной батареи. Чтобы иметь возможность раздельного включения выключателей ключами управления, последовательно с контактом *РПВ* (*В1*) включены контакты ключей управления *КУ* (*В1*) и *КУ* (*В2*), замкнутые в нейтральном положении.

При наличии указанных блокировок можно применить одно реле фиксации *РФ* (*Т1*) на оба выключателя трансформатора. Для обеспечения ускорения действия защиты применено тоже одно реле *РУ* (*Т1*).

Рассмотренные схемы управления позволяют весьма просто выполнить схему автоматики (рис. 12-15), обеспечивающую АВР как секционного выключателя, так и резервных трансформаторов. Назначение контакта переключателя *ПБ* на рис. 12-14,*б* такое же, как у аналогичного контакта *ПБ* на рис. 12-14,*а*.

Принцип действия схемы следующий: пуск осуществляется при отключении любого выключателя непосредственно или через блокировки (*В1*, *В2* или *В3*, *В4*) по цепям несоответствия, а включение находящихся в резерве выключателей производится контактами реле *1П* по цепям, контролируемым реле фиксации секционного выключателя и трансформаторов. Ограничение продолжительности включающего импульса достигается с помощью реле *2П*. Последнее должно иметь значительное замедление на возврат (реле РЭ-515), необходимое для исключения возможности деблокировки этого реле, а следовательно, для обеспечения однократности действия в случае кратковременного снижения оперативного напряжения.

При работе одного трансформатора, например *Т1*, на обе секции низшего напряжения после отключения секционного выключателя в результате неустойчивого короткого замыкания на одной из секций и включения трансформатора *Т2* питание потребителей восстановится, но схема АВР окажется заблокированной (самоудерживание реле *2П*). Незначительным усложнением схемы можно получить в этом случае автоматический возврат устройства АВР с тем, чтобы в случае последующего отключения одного из трансформаторов АВР включило секционный выключатель. Для этого параллельно обмоткам реле *2П* и *РФ* (*В5*) необходимо включить контакты реле *РУ* (*Т1*), *РУ* (*Т2*) и *РУ* (*Т1*), *РУ* (*Т2*) и *2П* соответственно, как показано на рис. 12-16.

При необходимости производить АПВ отключившегося трансформатора схема рис. 12-15 дополняется

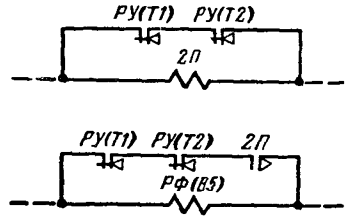


Рис. 12-16. Дополнение к схеме рис. 12-15 для обеспечения автоматического возврата.

двумя комплектными реле РПВ-58 (§ 11-2), обеспечивающими повторное включение трансформатора. При этом пуск АПВ (рис. 12-17,*а*) осуществляется с помощью промежуточного реле *3П*, последовательная обмотка которого включена в цепь отключения выключателя *В2* (или *В4*) защитой шин низшего напряжения, а параллельная предусмотрена для самоудерживания. Автоматическая деблокировка реле *3П* производится только в случае успешного АПВ шунтированием его шунтовой обмотки контактами реле ускорения защиты, например *РУ* (*Т1*) и реле РПВ (*В2*).

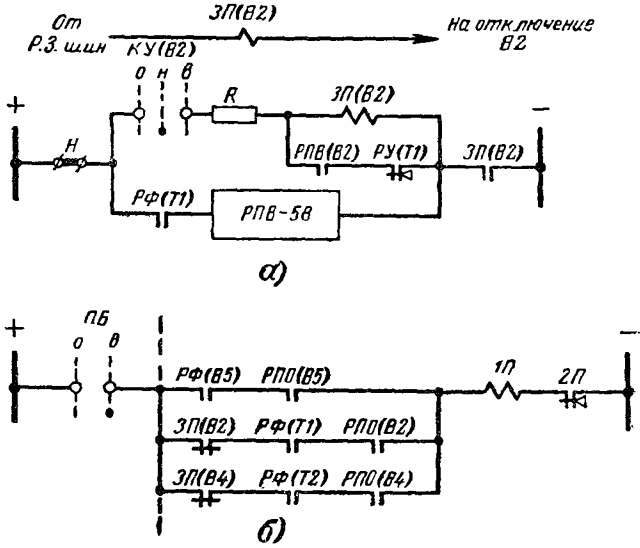


Рис. 12-17. Изменение схемы АВР рис. 12-15 при добавлении АПВ шин низшего напряжения.

В схему АВР приходится добавить блокировку (рис. 12-17,*б*), предотвращающую в рассматриваемом случае действие АВР на включение секционного выключателя. Для этого при срабатывании реле *3П* контакты последнего размыкают цепи несоответствия пуска АВР. Область применения схем рис. 12-15 и 12-17 не ограничена схемой рис. 12-4. Действие автоматики при различных повреждениях в разных режимах работы подстанции приведены в табл. 12-1.

12-5. КОМБИНИРОВАННАЯ СХЕМА АВР — АПВ С КОМПЛЕКТНЫМ РЕЛЕ РАВ-1

Схема комплектного устройства, разработанного ВНИИЭ (рис. 12-18) на основе реле, применяемого в Белорусэнерго, обеспечивает совмещение функций АВР и АПВ в одном комплектном реле автоматического включения (РАВ-1).

Таблица 12-1

Действия автоматики, предусмотренные схемой АВР (рис. 12-17)

Режим работы подстанции	Какие выключатели отключились		Какие выключатели включились устройством и АВР и АПВ
	по любой причине, помимо телеотключения и действия защиты шин (максимальной защиты)	в результате работы защиты шин (максимальной защиты)	
T1 и *T2* в работе, *B5* в резерве	*B2* или *B4*, *B1* и *B2* или *B3* и *B4* — —	— *B2* или *B4*, *B1* и *B2* или *B3* и *B4*	АВР *B5* АВР *B5* АПВ *B2* или АПВ *B4* АПВ *B1* и *B2* или АПВ *B3* и *B4*
T1 в резерве, *T2* и *B5* включены	*B5* *B4* — *B3* и *B4* — *B4* и *B5* —	*B5* — *B4* — *B3* и *B4* — *B4* и *B5*	АВР *B1* и *B2* АВР *B1* и *B2* АПВ *B4* АВР *B1* и *B2* АПВ *B3* и *B4* АВР *B1* и *B2* АПВ *B4*
T1 в ремонте, *T2* и *B5* включены	*B5* *B4* — — *B3* и *B4* —	*B5* — *B4* *B4* и *B5* — *B3* и *B4*	— — АПВ *B4* АПВ *B4* — АПВ *B3* и *B4*
T1 и *T2* в работе, *B5* в ремонте	*B2* или *B4* — *B1* и *B2* или *B3* и *B4* —	— *B2* или *B4* — *B1* и *B2* или *B3* и *B4*	— АПВ *B2* или АПВ *B4* — АПВ *B1* и *B2* или АПВ *B3* и *B4*

Примечания: 1. В прочих возможных режимах, связанных с взаимным изменением условий работы трансформаторов, действие автоматики аналогично приведенному в табл. 12-1, поскольку схема по отношению к трансформаторам симметрична.

2. Действие автоматики при ошибочном телеотключении не предусматривается (во всех схемах), так как для этого необходимы дополнительные каналы телеквитирования.

Устройство РАВ-1 состоит из реле времени типа РВ-133А, двух промежуточных реле типа РП-255, осуществляющих включение выключателей, указательного реле, конденсатора *C* и нескольких сопротивлений.

Конденсатор *C* обеспечивает одиократность действия, а зарядное сопротивление R_2 определяет время его готовности к последующему действию. Пуск комплектного реле производится согласно схеме рис. 12-1,*б* при отключении выключателей *B2*, *B4* и *B5* подстанции, изображенной на рис. 12-4. Предполагается, что в схеме управления выключателями имеется блокировка, отключающая выключатель трансформатора со стороны низшего напряжения при отключении выключателя, установленного на стороне высшего напряжения.

*Комплектное реле РАВ-1 работает аналогично реле РПВ-58 (§ 11-2). Включение выключателей осуществляется двумя реле *1П* и *2П*. Первое производит включение выключателей *B1* и *B3*, и только после этого блок-контактами этих выключателей замыкаются цепи включения выключателей *B2*, *B4* и *B5*, подготовленные контактами реле *2П*. Таким образом, при действии автоматики исключается одновременное включение нескольких выключателей. Возврат реле РАВ-1 достигается шунтированием последовательной обмотки реле *1П* в цепи его самоудерживания, контактами реле *2П*.

Изменение указанного выше распределения контактов реле *1П* и *2П* по цепям включения может вызвать отказ АВР, так как цепи удерживания этих реле будут нарушены.

Работа устройства в одних случаях как АВР, в других как АПВ достигается благодаря наличию двух выдержек времени у максимальных защит трансформаторов, а также с помощью режимных переключателей *ПБ* и блок-контактов выключателей *B1* и *B3*. Переключатели *ПБ* имеют три положения: ремонт, работа и резерв. При изменении положения выключателей подстанции переключатели *ПБ* (*T1*), *ПБ* (*T2*) и *ПБ* (*B5*) должны также переводиться в соответствующее новое положение.

В случае раздельной работы трансформаторов на шинах низшего напряжения при к. з. на шинах секции *1* (рис. 12-4) максимальная защита трансформатора *T1* с первой выдержкой времени (защита шин) отключает выключатель *B2*. Комплектное реле РАВ-1 осуществляет АПВ этого выключателя через контакт *5-6* переключателя *ПБ* (*T1*) и замыкающий блок-контакт выключателя *B1*. Если повредится трансформатор *T1*, подействует защита от внутренних повреждений в трансформаторе и оба его выключателя от-

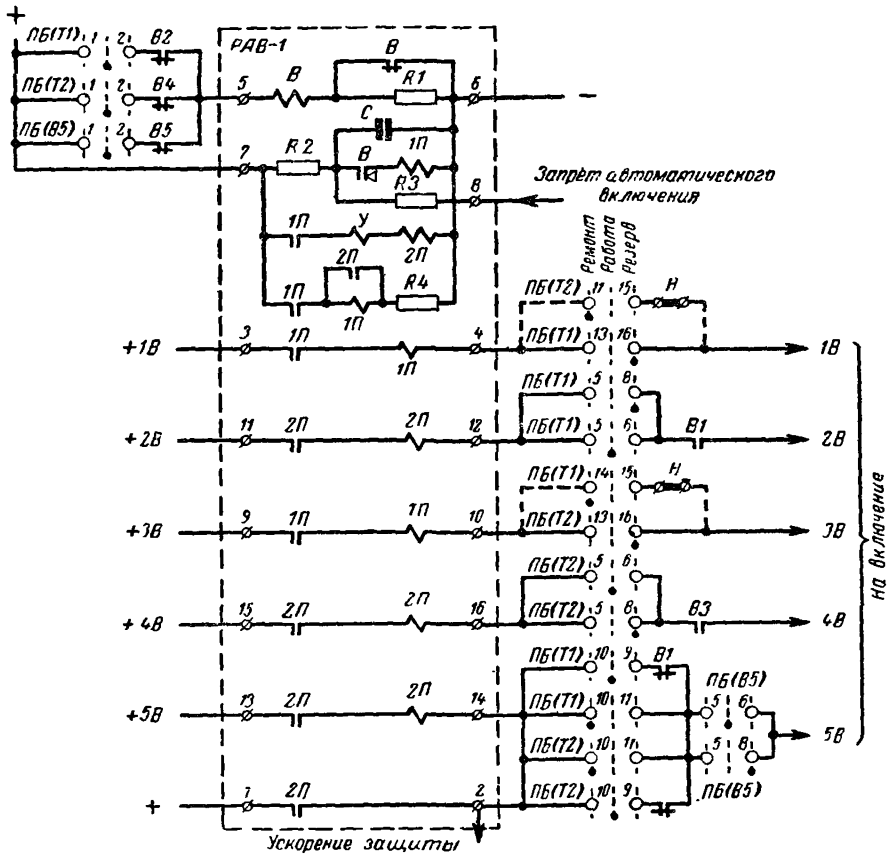


Диаграмма переключателей ПБ типа КФ-5555/П-IV-С

Наименование положения	Положение переключателя	1-2	2-3	1-4	5-6	6-7	5-8	9-10	10-11	9-12	13-14	14-15	13-16
Ремонт	←	–	+	–	–	+	–	–	+	–	–	+	–
Работа	↑	+	–	–	+	–	–	+	–	–	+	–	–
Резерв	→	–	–	+	–	–	+	–	–	+	–	–	+

Рис. 12-18. Схема включения устройства АВР—АПВ типа РАВ-1 для подстанций с дежурным персоналом (пунктиром показаны цепи, необходимые для осуществления АПВ обоих выключателей трансформатора).

Таблица 12-2

Действия автоматики, предусмотренные схемой АВР* (рис. 12-18)

Положение переключателей *ПБ* в соответствии с режимом работы подстанции	Какие выключатели отключались (по любой причине, кроме телеотключения)	Какие выключатели включаются устройствами АВР и АПВ
ПБ (Т1) и *ПБ (Т2)* — работа, *ПБ (В5)* — резерв	*В2* или *В4*	АПВ *В2* или АПВ *В4*
	В1 и *В2* или *В3* и *В4*	АВР *В5*
ПБ (Т1) — резерв,	*В5*	АВР *В1* и *В2*
	В4	АПВ *В4*
ПБ (Т2) и *ПБ (В5)* — работа	*В4* и *В5* (к. з. на секции *I*)	АПВ *В4* и АПВ *В5*
	В3 и *В4*	АВР *В1* и *В2*
ПБ (Т1) — ремонт,	*В5*	АПВ *В5*
ПБ (Т2) и *ПБ (В5)* — работа	*В4*	АПВ *В4*
	В4 и *В5*	АПВ *В4* и АПВ *В5*
	В3 и *В4*	АПВ *В3* и *В4*
ПБ (Т1) и *ПБ (Т2)* — работа,	*В2* или *В4*	АПВ *В2* или АПВ *В4*
ПБ (В5) — ремонт	*В1* и *В2* или *В3* и *В4*	АПВ *В1* и *В2* или АПВ *В3* и *В4***

* См. примечания 1 и 2 к табл. 12-1.

** В этих режимах должна быть замкнута накладка *Н* (рис. 12-16), а при работе защиты от внутренних повреждений АПВ запрещается подачей минуса на зажим *8* реле РАВ-1.

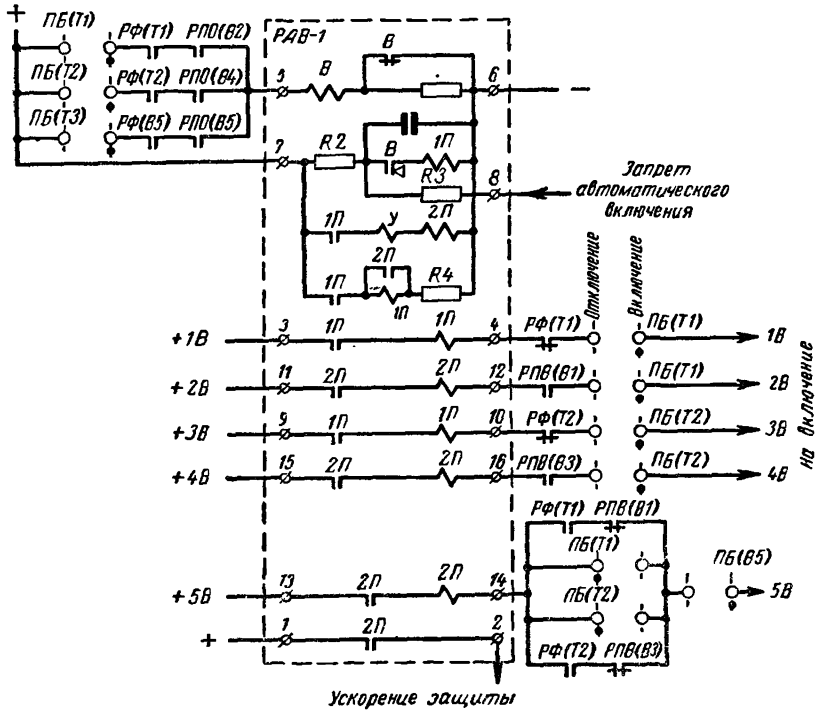


Рис. 12-19. Схема включения устройства АВР—АПВ типа РАВ-1 для телемеханизированных подстанций.

ключатся одновременно. В этом случае осуществляется АВР секционного выключателя *В5* по цепи: контакт *10-9 ПБ (Т1)*, размыкающий блок-контакт *В1* и контакт *5-8 ПБ (В5)*.

Если быстродействующая защита трансформатора откажет, он будет отключаться максимальной защитой, при этом вначале произойдет отключение выключателя *В2*, а затем, со второй выдержкой времени, — выключателя *В1*. Чтобы предотвратить в этом случае АПВ выключателя *В2*, выдержка времени реле *В* комплектного реле РАВ-1 выбирается на ступень селективности больше разности второй и первой выдержек времени максимальной защиты трансформатора, т. е. порядка 1 *сек*. Тогда благодаря изменению положения блок-контакта *В1* к моменту срабатывания схемы она подействует как АВР и включит выключатель *В5*.

Действие автоматики при различных режимах работы подстанции рассмотрено в табл. 12-2.

Схему, аналогичную приведенной на рис. 12-18,

можно осуществить с помощью комплектного реле РПВ-58, добавив для увеличения числа контактов два промежуточных реле типа РП-255. Для обеспечения возврата реле РПВ-58 удерживающая обмотка промежуточного реле *П* комплектного реле шунтируется соединенными последовательно замыкающими контактами указанных выше двух дополнительных реле.

Применение схемы рис. 12-18 на телемеханизированных подстанциях не может быть рекомендовано, так как после оперативного отключения выключателей необходимо вмешательство персонала для изменения положения переключателей *ПБ*. Модернизация схемы в направлении устранения указанных недостатков заключается (рис. 12-19) в замене ряда контактов переключателей контактами реле фиксации положения выключателей. Переключатели *ПБ* при этом могут иметь только два положения: включено и отключено. Последнее указывает, что выключатель (присоединение) отключен в ремонт. Одновременно для упрощения целесообразно вместо блок-контактов выключателей использовать контакты реле контроля цепей управления. При выводе в резерв оборудования с помощью телеотключения соответствующие контакты устройства телеуправления *У* и *РТО* (рис. 12-14) шунтируют обмотку реле фиксации положения выключателя и тем самым предотвращают пуск схемы автоматики.

Область применения комплектных реле РАВ-1 не ограничена подстанциями со схемой соединений, подобной изображенной на рис. 12-4. Она может использоваться и на двухтрансформаторных подстанциях с двойной системой шин на стороне низшего напряжения, причем если трансформаторы трехобмоточные, то применяются два комплектных реле РАВ-1.

Посредством двух комплектных реле можно также выполнить схему автоматики собственных нужд станции, например, для случая, изображенного на рис. 12-6, исключив цепи, связанные с секционными выключателями.

12-6. АВР В КАБЕЛЬНЫХ СЕТЯХ 6—10 *кв*

а) АВР на распределительных пунктах (РП)

На нетелемеханизированных РП применяются пружинные и грузовые приводы без АМР. Это позволяет допускать длительный включающий импульс и ручную деблокировку схемы, так как после АВР натяжение пружины привода (или подъем груза) производится вручную. На рис. 19-20 приведены две распространенные схемы РП. Трансформаторы напряжения применяются однофазные, включенные по всей сети на одноименные фазы и заземленные на стороне вторичного напряжения через пробивной предохранитель.

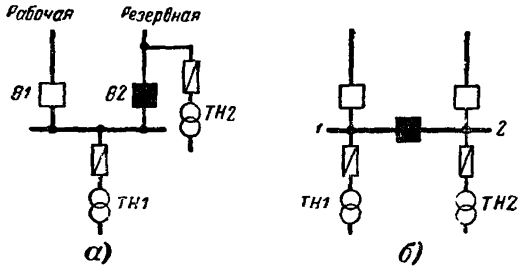


Рис. 12-20. Варианты схем распределительных пунктов (РП).

В схеме АВР (рис. 12-21) для РП (рис. 12-20,*а*) использован пусковой орган согласно рис. 12-2,*ж*. Для повышения надежности рекомендуется применять для защиты цепей напряжения не предохранители, а автомат, контакт *А* которого включается в цепь отключения выключателя *В1*.

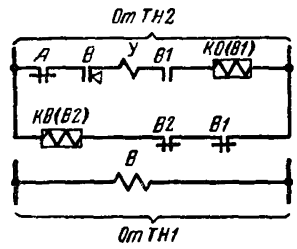


Рис. 12-21. Схема АВР линии на распределительном пункте.

Питание схемы осуществляется от трансформатора напряжения *ТН2* резервной линии. Для РП (рис. 12-20,*б*), работающих по схеме рис. 12-12, схемы АВР аналогичны схеме рис. 12-21.

На телемеханизированных РП необходима установка приводов с АМР и, следовательно, должны применяться схемы, подобные приведенным на рис. 12-8, 12-11 и 12-13.

б) АВР на трансформаторных пунктах (ТП)

Схемы АВР для ТП могут быть упрощены за счет применения выключателей нагрузки, например типа ВН-16 с приводами ПРА-12.

Пуск схемы осуществляется промежуточным реле типа ЭП-41, включенным на напряжение силового трансформатора. Контактом пускового реле замыкается цепь обмотки реле РТВ привода, в результате осуществляется отключение с выдержкой времени. Трансформатор напряжения на шинах не устанавливается.

Питание схемы АВР линии осуществляется от трансформатора напряжения резервной линии, а в схеме АВР секционного выключателя нагрузки—от силового трансформатора.

12-7. АВР ДВИГАТЕЛЕЙ

В установках собственного расхода электростанций рекомендуется применять АВР электродвигателей ответственных механизмов. Пуск схемы АВР осуществляется обычно блок-контактами выключателей отклю-

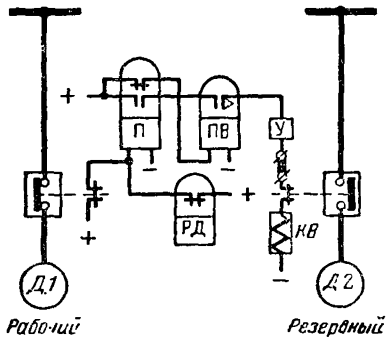


Рис. 12-22. Схема АВР электродвигателя.

чившихся рабочих электродвигателей согласно рис. 12-1,*а*. В ряде случаев, кроме того, применяется и пуск от контактов реле, реагирующих на неэлектрические величины, которые характеризуют состояние технологического процесса. Схема АВР при этом несколько изменяется. Например, на рис. 12-22 реле давления РД замыкает контакт в цепи пуска АВР при падении давления в магистрали, питающей котел водой.

12-8. АВР ЛИНИЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

На линиях низкого напряжения обычно применяется схема АВР с двумя контакторами (рис. 12-23), которые отпадают при напряжении порядка 50% $U_{ном}$. Чтобы не расходовать электроэнергию на удерживание контакторов в положении срабатывания, рекомендуется применять контакторы с удерживающей защелкой, например КТ-4035 (на рабочем источнике), или контакторные станции, например типа ПХЭ-8701. Последние действуют при снижении напряжения до 70% $U_{ном}$.

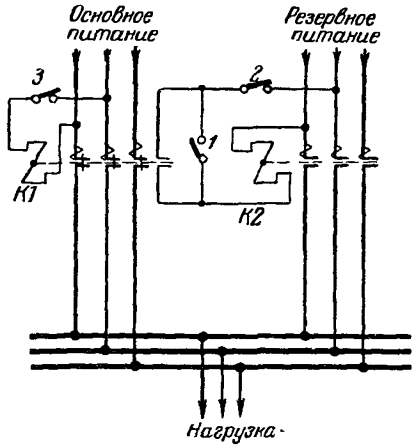


Рис. 12-23. Схема АВР линии низкого напряжения.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

АВР двигателей 509
— кабельных сетей 509, 510
— линий 503
— телемеханизированных подстанций 504
— трансформаторов 500
Активное сопротивление 7, 10, 16, 18 20
Аналитические выражения для напряжений в месте к. з. 38
— — — токов при несимметричных к. з. 34
— — — — — обрыве фазы 43
АПВ быстродействующие 483
— двигателей 496
— однофазные 488
— подстанций без выключателя на стороне высокого напряжения 497
— трансформаторов 495
— трехфазные 477
— шин 493

Б

Блок питания 178, 180
Блокировка высокочастотная 145
— при качаниях 135, 315
— — неисправности цепей напряжения 128

В

Векторная диаграмма трансформатора напряжения 358
— — — тока 326
Воздушные выключатели 440
Времени реле 81, 183
Выдержка времени защиты с зависимой характеристикой 296, 298, 311
— — — — независимой характеристикой 295, 296
Выравнивание токов в плечах дифзащиты 305, 306
Высокочастотная защита 156, 163

Г

Газовое реле 197

Д

Дистанционная защита 134, 148
Дифференциальная защита линий 186, 191
— — шин 214, 216, 221, 222
— — — неполная 204—208, 212
Дифференциальные реле 65, 70, 72, 75

Е

Емкостная проводимость 20

З

Запас динамической устойчивости 46
— статической устойчивости 45
Зарядное устройство 175
Защита асинхронных и синхронных электродвигателей 251
— блоков генератор — трансформатор до 2 000 *квт* 225, 227, 229, 231
— — генератор — трансформатор и генератор — автотрансформатор 249
— вольтодобавочных устройств 245
— генераторов до 2 000 *квт* 222, 224
— — от 2 000 *квт*, виды защит 231
— — — витковых замыканий 233
— — — замыканий на землю в обмотке статора 233
— — — многофазных к. з. в обмотках статора 233
— — — сверхтоков 235, 236
— гидрогенераторов от повышения напряжения 237
— линий 3—10 *кв* 263
— — 35 *кв* 264
— — 110—220 *кв* 269
— на оперативном переменном токе 293
— синхронных компенсаторов 237
— трансформаторов и автотрансформаторов, виды защит 239
— — — — от замыканий на землю 245
— — — — — повреждений в обмотках и на выводах 240
— — — — — — внутри кожуха 243
— — — — — сверхтоков 245
— цепей возбуждения 236
— шин 3—10 *кв* 204
— — 35 *кв* и выше 214
Зона каскадного действия

И

Измерение несинусоидальных величин 464
Измерительные приборы, параметры 468
Изоляционные материалы 423

К

Кабели контрольные 408
Комплектные устройства защиты (КЗ) 198
Короткозамыкатели и отделители 441
Коэффициент надежности 298
— разветвления 296
— торможения 307
— фильтра манипуляции защиты ДФЗ-2 310
— чувствительности 295, 296, 299, 301—305, 307, 308, 310, 316, 317, 320

М

Масляные выключатели 434
Место короткого замыкания 18
Метод симметричных составляющих 30
Мощности реле 63, 64

Н

Напряжение срабатывания блокировки минимального напряжения 295, 305
— — защиты напряжения нулевой последовательности 320
— — пускового реле 1ЭН защиты ДФЗ-2 310
— — — — фильтровой высокочастотной защиты ПЗ-160 310
Напряжения реле 55, 56, 58, 105, 196
Несинхронные АПВ 482

О

Обобщенная нагрузка 20
Обозначения электроизмерительных приборов 456
Оператор фазы 30, 31

П

Параметры автоматов 387
— воздушных линий 17
— генераторов 8, 9
— кабельных линий 18
— предохранителей 372
— реакторов 16
— трансформаторов и автотрансформаторов 13, 14, 15
— электроизмерительных приборов 468
Переходное сопротивление в месте к. з. 40
Погрешности трансформаторов тока 327
— электроизмерительных приборов 445, 446
Погрешность 10%-ная трансформаторов тока 328
Поляризованное реле 116, 121
Преобразование элементов схемы 23

Приведение и пересчет элементов схемы 21
Приводы механические 444
— электромагнитные 441
Припои и флюсы 422
Проверка селективности плавких вставок 384
— — при защите аппаратами разных типов 406
Провода обмоточные 410
Проводниковые материалы 421
Промежуточные реле 85, 125, 127

Р

Расчет динамической устойчивости графоаналитической 46
— — — методом последовательных интервалов 47
— — — при полном сбросе нагрузки 48
— нагрузки на трансформатор напряжения 363
— периода синхронных качаний 48
— потерь в цепях трансформатора напряжения 367
— самозапуска электродвигателей при питании от генератора соизмеримой мощности 49
— — — — — — шин бесконечной мощности 48, 49
— статической устойчивости 44
— тока к. з. в сетях до 1 000 *в* 396
— — — — цепях трансформатора напряжения 368
— — — по кривым затухания 26, 28, 35
— — — при питании от генераторов (аналитический) 24
— — — — — — источника бесконечной мощности 22, 24, 35
— — — — несимметричных к. з. 32
— — небаланса в дифференциальных схемах 333
— — — — нулевых проводах 334
— — ротора по току статора 50
— токов при несинхронных включениях 51
— — — обрыве фазы 42
— — — самосинхронизации 50
— трансформаторов тока на 10%-ную погрешность 329
— — — при погрешности выше 10% 332
Расчетные кривые затухания 27, 28, 29
— схемы 22, 32, 34, 41, 42, 48, 49, 51
Реакторы с расщепленными обмотками 16
Режим максимальный 20
— минимальный 20
— предшествующий короткому замыканию 19
Реле встроенные 448
— и комплектные устройства 52
Ротора защита 168

С

Согласование по чувствительности 296
— характеристик дистанционных защит 313
Соотношения между полными токами и их симметричными составляющими 31
Сопротивление активное 10, 18, 20
— воздушных линий 16, 17, 18
— генераторов 7, 10
— дуги в месте к. з. 20
— кабельных линий 18
— омическое 7, 16, 18
— полное 10
— реактивное 7, 10, 16, 17, 26
— реакторов 16
— срабатывания дистанционной защиты 311, 312
— трансформаторов 10, 12, 16
— эквивалентное 18
Сопротивления реле 108, 110
Сплавы высокого сопротивления 421
Схемы замещения трансформаторов нулевой последовательности 10, 11, 12
— — — с расщепленными обмотками 10, 12
— — — трехобмоточных 10
— соединения трансформаторов напряжения и их цепей 359

Т

Ток срабатывания дифференциальной защиты трансформаторов с БНТ 69, 305
— — — — — — торможением 307
— — — — шин 35 *кв* и выше 320
— — — отсечки трансформаторов 305
— — максимальной токовой защиты с блокировкой минимального напряжения 295
— — — — — от междуфазовых к. з. 295
— — — — — — перегрузки 298
— — неполной дифференциальной защиты шин 320
— — отсечки 298
— — поперечной дифференциальной направленной защиты 301
— — продольной дифференциальной защиты линий РДЛ 303
— — — — — — ДЗЛ 304
— — пусковых реле блокировки при качаниях 315
— — — — высокочастотной защиты ДФЗ-2 308
— — токовой защиты нулевой последовательности 316, 320
— — — — обратной последовательности 299
Токовые реле 52—55, 59, 101, 103 105
Трансформация симметричных составляющих 38

У

Ударный коэффициент 26
— ток к. з. 26
Указательные реле 100
Устройство зарядное 175
— повторного включения 173
— резервирования 288
Учет активного сопротивления и емкостной проводимости 20
— дуги и переходного сопротивления в месте к. з. 20 40
— качаний 41
— нагрузки 20

Х

Характеристики наиболее распространенных трансформаторов тока 33
— намагничивания трансформаторов тока 327

Ч

Частотные реле 80

Ш

Шунт полного сопротивления 20

Э

Эквивалентная э. д. с. 18
Эквивалентное сопротивление 18
Электротехнические стали 418

ОПЕЧАТКИ

Страница	Столбец	Строка	Напечатано	Должно быть
20	правый	25 сверху	0,12	0,2
43	Рис. 1-29		*а*—одной фазы *A*; *б*—двух фаз *B* и *C*.	*а*—в точке после места обрыва; *б*—до места обрыва.
304	левый	7 сверху	$I_1 - kI_2$	$I_1 + kI_2$
307	правый	6—7 сверху	в обмотке трансформатора, ближайшей к месту повреждения;	в обмотке трансформатора
336	таблица			

W	*r*	*x*	*z*	*W*	*r*	*x*	*z*
172,5 170 165	0,41	0,41	0,58	172,5 170 165	0,41	0,41	0,58
140 150 120	0,19	0,19	0,27	140 150 120	0,19	0,19	0,27

359	левый	8—7 снизу	...на рис. 6-38—6-40 и в табл. 6-5—6-7	...в табл. 6-5—6-7
359	левый	6 снизу	...на рис. 6-38,*е*	...в табл. 6-5,*е*
359	правый	17 и 29 сверху	(рис. 6-38,*е*)	(табл. 6-5,*е*)
359	правый	16 снизу	(рис. 6-39.*г*, табл. 6-6)	(табл. 6-6,*г*)
359	правый	1 снизу	(рис. 6-40)	(табл. 6-7)
362	левый	2 снизу	(рис. 6-38—6-40)	(табл. 6-5 — 6-7)
468	таблица, 4 столбец	8 снизу	0,5	—
468		2 снизу	+0,3%	±0,3%

М. А. Беркович—Справочник по релейной защите.

3 р. 47 к.