

Учебный курс:
«Вторичные цепи (оперативного
тока, токовые цепи, напряжения,
сигнализации, управления
коммутационными аппаратами,
оперативной блокировки).
Общие требования. Особенности организации и
требования при производстве переключений».

Докладчик: Валерий Григорьевич Точилкин.

«ВТОРИЧНЫЕ ЦЕПИ»

Понятие «вторичные цепи» определено «Правилами устройства электроустановок» в главе «Вторичные цепи»: «Настоящая глава Правил распространяется на вторичные цепи (цепи управления, сигнализации, контроля, автоматики и релейной защиты) электроустановок». Значит, вся совокупность соединительных проводов, контрольных кабелей, клемм и т.д. входит в понятие вторичных цепей или вторичной коммутации (ВК), или устройства, обеспечивающие и поддерживающие работу РЗ:

- измерительные трансформаторы;
- источники оперативного тока;
- устройства сигнализации;
- регистраторы аварийных процессов.

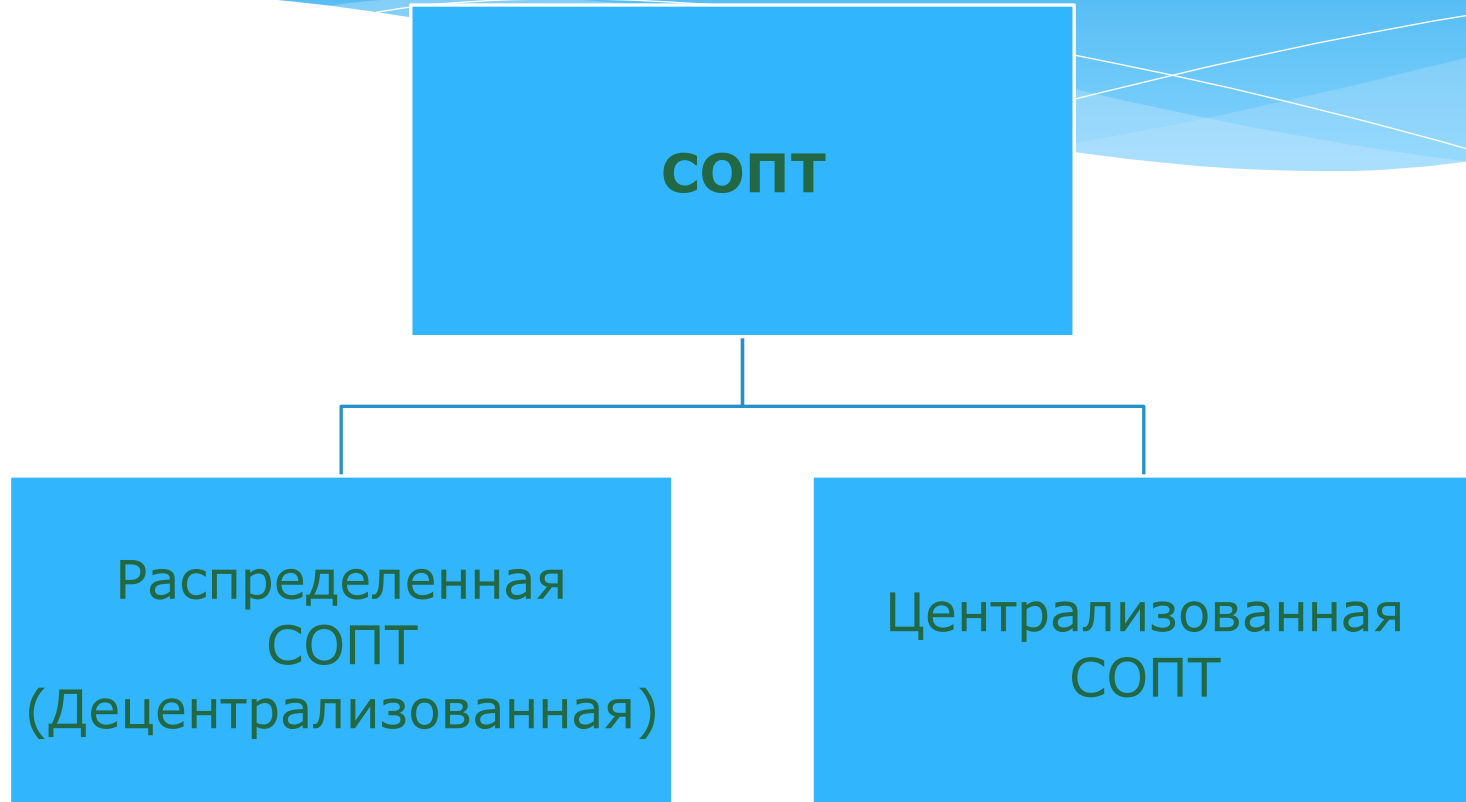
«ВТОРИЧНЫЕ ЦЕПИ»

Вторичным оборудованием являются контрольно-измерительные приборы, реле защиты и автоматики, аппаратура управления и сигнализации, соединенные между собой проводами и контрольными кабелями. Вторичное оборудование служит для управления первичным оборудованием, его защиты, контроля работы первичного оборудования.

К вторичным цепям относятся все устройства и соединяющие их электрические цепи, предназначенные:

- управления коммутационной аппаратурой, осуществления устройств блокировки, сигнали-зации и т. п.;
- измерений электрических параметров (то-ка, напряжения, мощности, энергии, частоты и пр.);
- контроля за заданным режимом работы и техническим состоянием оборудования.

Назначение, типы источников оперативного тока



Стационарные аккумуляторы



ТЕХНОЛОГИИ



CLASSIC

**Малообслуживаемые
аккумуляторы
с жидким
электролитом**



GEL

**Герметизированные
Аккумуляторы с
желеобразным
Электролитом
(технология «dryfit»)**



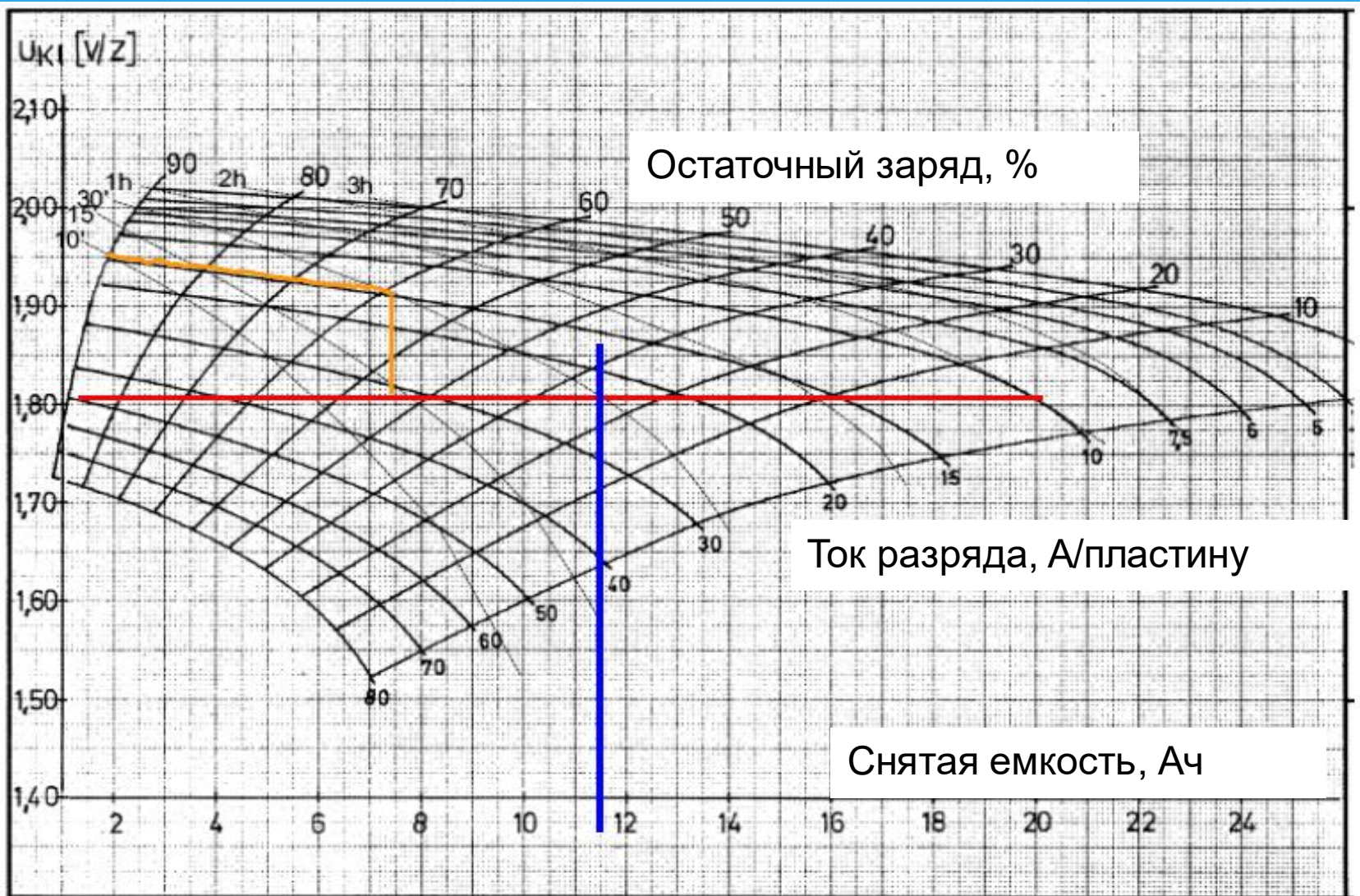
AGM

**Герметизированные
Аккумуляторы с
абсорбированным
Электролитом
(технология AGM)**

Особенности применения АБ на объектах энергетики

- Дежурный режим - буферный (online);
 - Аварийный режим от 30 минут до нескольких часов;
- Непостоянный ток нагрузки, наличие «толчковых» токов;
 - Жестко ограниченный диапазон напряжения;

Пластина GroE25 (разрядная характеристика)



Методика отыскания «земли» в цепях оперативного постоянного тока

Наличие замыкания на землю или просто снижение изоляции в сети постоянного тока свидетельствует о том, что либо один из полюсов замыкается на землю, либо уровень электрической изоляции резко снижен по каким либо причинам. Данный режим работы сети постоянного тока является недопустимым и может привести к негативным последствиям. Поэтому, в случае возникновения данной ситуации необходимо немедленно приступить к поиску повреждения (прекратив все остальные работы во вторичных цепях) и в максимально короткий срок его устранить. Возникновение «земли» в сети постоянного оперативного тока фиксируется сигнализацией. Первое, что следует сделать – это убедиться в том, что замыкание на землю в сети постоянного тока действительно есть.

При появлении исчезающего сигнала о замыкании на землю в цепи оперативного тока дежурный должен, пользуясь устройством контроля сопротивления изоляции оперативных цепей, установленным на объекте, и руководствуясь местной инструкцией, выяснить, на каком полюсе и участке цепи постоянного тока появилось замыкание на землю. Затем при осмотре поврежденного участка необходимо выяснить причину и место замыкания на землю, а с помощью коммутационных устройств, автоматов и предохранителей попытаться отделить от схемы поврежденный элемент или участок цепи.

Найти повреждения, которые привело к возникновению замыкания на землю, следует в максимально короткий срок.

Поиск замыкания на землю в сети постоянного тока сводится к поочередному переводу или отключению всех отходящих линий, которые питаются от шкафа постоянного тока. Когда найдена линия, при отключении которой замыкание на землю пропадает, следует найти и устранить неисправность.

Назначение, типы источников оперативного тока. Типовые решения на переменном оперативном токе.

Типовые решения на переменном оперативном токе

1. Схема с дещунтированием катушки отключения (используется в качестве источника оператив. тока ТТ).
2. С предварительно заряженными конденсаторами.
3. С блоками питания выпрямленным током (под ними понимаются устройства, питаемые от ТА, TV или трансформаторов собственных нужд). Применяются блоки питания БПН и БПТ.
4. С применением ИБП для некоторых устройств (Решение МКС).

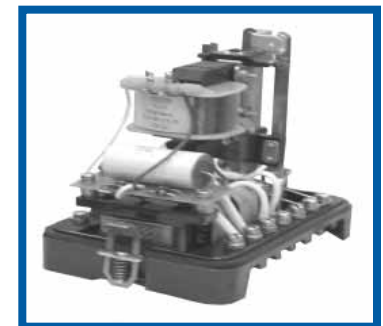
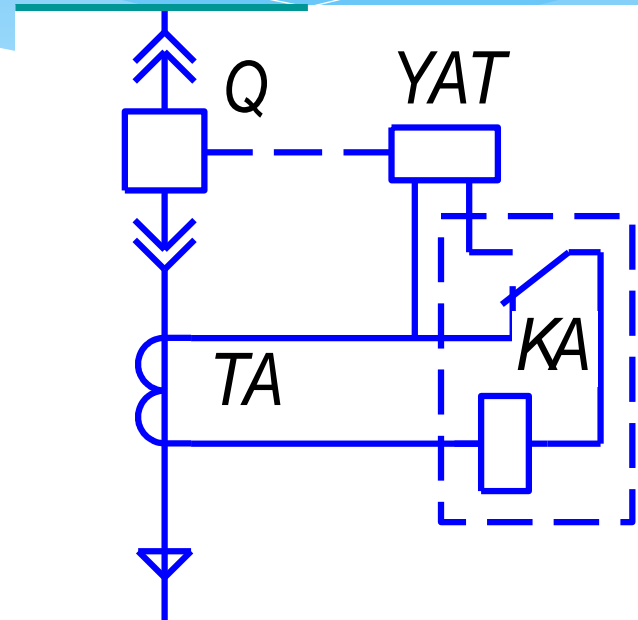
Назначение, типы источников оперативного тока. Типовые решения на переменном оперативном токе. Схемы с дешунтированием.

Особенности:

- наличие дополнительных токовых отключающих обмоток выключателей;
- применение реле с мощными контактами (РП-361, РТ-8Х, РТ-9Х);

Достоинства:

- простота;
- дешевизна;
- надежность;
- проверена временем.



«ТОКОВЫЕ ЦЕПИ»

Токовые цепи (идущие от трансформаторов тока) служат для питания: измерительных приборов (показывающих и регистрирующих) — амперметров, ваттметров и варметров; счетчиков активной и реактивной энергии, телеизмерительных устройств, осцил-логафов и др.;

токовых органов релейной защиты — максимальной токовой, дифференциальной, дистанционной, защиты от замыкания на землю, устройств резервирования отказа выключателей (УРОВ) и др.; автоматических устройств, автоматического регулирования возбуждения (АРВ) генераторов и синхронных компенсаторов, регулирования перетоков мощности, противоаварийной автоматики и т. д.;

некоторых устройств блокировки, сигнализации и др.; устройств преобразования переменного тока в постоянный, применяемых в качестве источников оперативного тока.

Трансформатор тока предназначен для уменьшения первичного тока до значений, наиболее удобных для измерительных приборов и реле, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Трансформаторы тока позволяют: изолировать цепи релейной защиты от высокого напряжения первичной цепи, получить стандартные номинальные вторичные токи 5 или 1 А, создать различные схемы соединений вторичных обмоток ТТ и обмоток реле тока.

Трансформатор тока представляет собой аппарат, первичная обмотка которого включена в цепь последовательно, а вторичная обмотка, будучи замкнута на некоторую цепь (“вторичную цепь”) отдаёт в неё ток, пропорциональный первичному току.

В трансформаторах тока высокого напряжения первичная обмотка изолирована от вторичной (и от земли) на полное рабочее напряжение. Вторичная обмотка в эксплуатации имеет потенциал, близкий к потенциалу земли, так как один конец этой обмотки заземляется. В цепях вторичных обмоток ТТ предусматривается защитное заземление. **Заземление во вторичных цепях ТТ** должно предусматриваться в одной точке на ближайшей от ТТ сборке зажимов либо на зажимах ТТ.

КОНСТРУКЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА.

По назначению трансформаторы тока могут быть разбиты на несколько групп: измерительные; защитные (для дифференциальной защиты, для земляной защиты, нулевой последовательности и т.д.); комбинированные (измерительные и защитные); лабораторные (со многими коэффициентами трансформации и высокой точности); промежуточные (для связи между двумя трансформаторами тока с разными коэффициентами трансформации) и т.д.

По роду установки трансформаторы тока могут быть разделены на следующие группы: для внутренних установок; для наружных установок; для особых, специфических условий эксплуатации, например для работы на морских судах, и т.д.

По способу выполнения первичной обмотки трансформаторы тока могут быть разбиты на две группы: стержневые или одновитковые; многовитковые.

КОНСТРУКЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА.

ТТ с твердой изоляцией
Внутренней и внешней установки

ТТ для генераторов

«выносные» ТТ

ТТ типа «бублик»

ТТ вводов
полностью изолированные



«кабельные» ТТ



Номинальные параметры трансформаторов тока.

- * **Номинальная вторичная нагрузка.** Номинальная вторичная нагрузка ТТ представляет собой значение нагрузки на зажимах вторичной обмотки, указанное на паспортной табличке ТТ. Номинальная вторичная нагрузка выражается в омах ($Z_{H\text{ ном}}$) или в вольт-амперах ($S_{H\text{ ном}}$) при номинальном вторичном токе ($S_{H\text{ ном}} = I_2^2 \text{ ном} * Z_{H\text{ ном}}$). Значение номинальной вторичной нагрузки устанавливается заводом-изготовителем и на нем основываются требования к точности ТТ, регламентируемые классами точности как для измерений, так и для защиты.
- * **Предельная кратность.** Предельная кратность тока ТТ по точности, обычно именуемая просто предельной кратностью, – это наибольшее значение кратности первичного тока (отношение действующего значения первичного тока к номинальному его значению), при которой полная погрешность при заданном сопротивлении вторичной нагрузки и определенном её коэффициенте мощности не превышает допустимое значение, установленное в зависимости от класса точности ТТ для защиты.
- * **ТТ для защиты по ГОСТ 7746-2001** подразделяются на классы точности 5Р и 10Р, для которых допустимое значение полной погрешности соответственно равно 5% и 10%. В составе требований классов точности 5Р и 10Р имеются также требования по ограничению токовой и угловой погрешностей ТТ при номинальном первичном токе.

Номинальные параметры трансформаторов тока.

- * **Номинальная предельная кратность ТТ** – это гарантируемая изготовителем ТТ предельная кратность тока при номинальной вторичной нагрузке с номинальным коэффициентом мощности и заданной классом точности полной погрешности.

Для класса точности 5Р предельная кратность обычно обозначается K_5 , номинальная предельная кратность $K_{5\text{ ном}}$. Соответственно, для класса точности 10Р используются обозначения K_{10} и $K_{10\text{ ном}}$ для предельной и номинальной предельной кратностей тока.

Общее обозначение предельной кратности тока по точности – буква K , номинальной предельной кратности $K_{\text{ном}}$.

На паспортной табличке ТТ изготовитель указывает для вторичных обмоток для релейной защиты номинальный класс точности (5Р или 10Р) и значение номинальной предельной кратности $K_{\text{ном}}$.

- * **Ток намагничивания.** Согласно ГОСТ 18685 ток намагничивания ТТ есть действующее значение тока, потребляемого вторичной обмоткой ТТ, когда ко вторичным зажимам подведено синусоидальное напряжение номинальной частоты, причем первичная обмотка и все остальные обмотки разомкнуты.

Процедура определения тока намагничивания, регламентированная ГОСТ 7746-2001, сужает приведенное выше определение тока намагничивания до его значения при одном расчетном значении напряжения (U) на зажимах вторичной обмотки, равном действующему значению вторичной ЭДС обмотки при номинальной нагрузке и номинальной предельной кратности первичного тока ТТ.

Определение номинальных токов.

Первичный номинальный ток

Выбирается согласно номинального тока защищаемого объекта

Обычно ток ТТ выбирается чуть выше

Шкала согласно стандарту:

Пример: $I_{N,G} = 7330 \text{ A} \rightarrow$ выбранный номинальный ток ТТ: 8000 А

Вторичный номинальный ток

Основные величины 1 А и 5 А.

5 А: **Преимущество:** меньшее число витков;

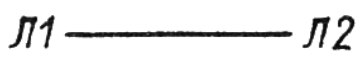
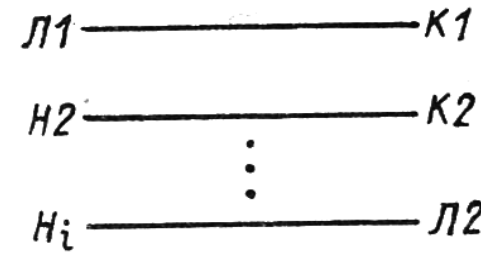

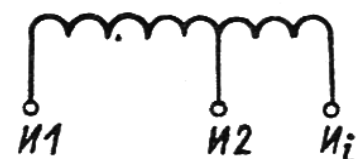
Недостаток: низкая допустимая нагрузка ($Z_{\text{Номр}} = S_{\text{НомТТ}} / (I_{\text{НомТТ}})^2 = 15 \text{ VA} / 25 \text{ A}^2 = 0,6 \text{ Ом}$)

1А: **Преимущество:** Высокая номинальная нагрузка ($Z_{\text{Ном}} = S_{\text{НомТТ}} / (I_{\text{НомТТ}})^2 = 15 \text{ VA} / 1 \text{ A}^2 = 15 \text{ Ом}$);

Недостаток: большее число витков (большая внутренняя нагрузка)

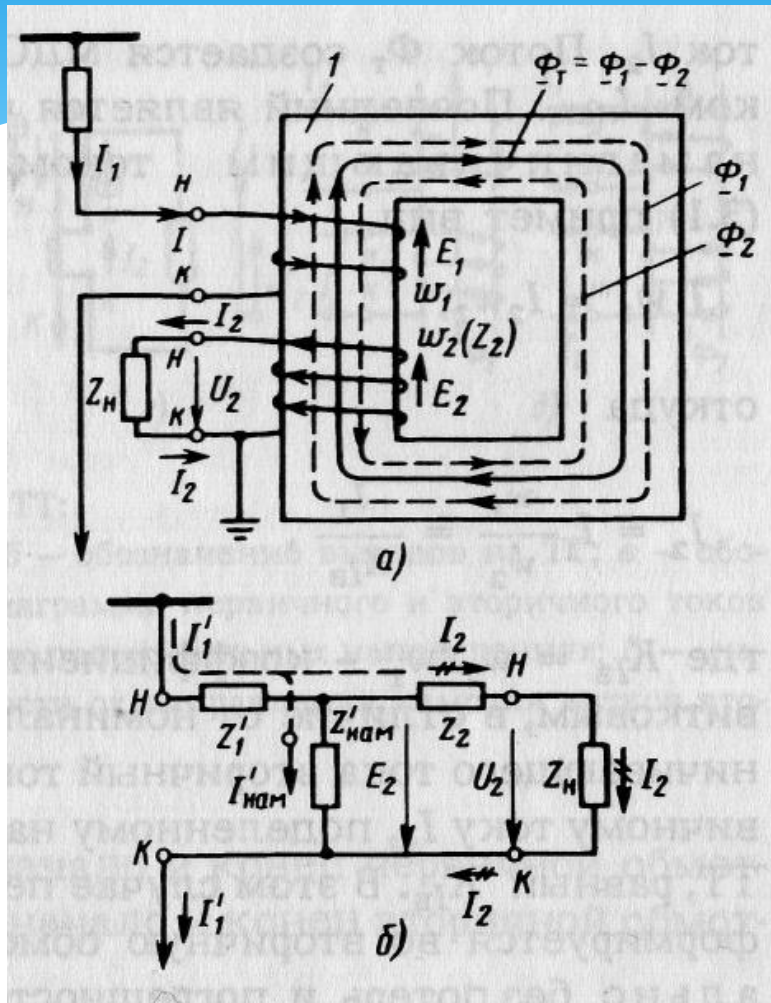
Предпочтительный вторичный номинальный ток: 1А (но нагрузки внешние с применением современных МП устройств уменьшаются).

Обозначение и полярность обмоток трансформаторов тока.

Первичная обмотка	Из одной секции 	Из нескольких секций 
Вторичная обмотка	Без ответвлений 	С ответвлениями 

В технике релейной защиты приняты положительные направления для токов и ЭДС. Звездочками отмечаются однополярные зажимы обмоток, например их начала, которые по ГОСТ обозначаются символами Л1 у первичной обмотки и И1 у вторичной обмотки.

Принцип действия ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА.



Трансформатор тока а – принцип устройства;
б – схема замещения (принято, что первичный ток и сопротивление первичной обмотки приведены к числу витков вторичной обмотки)
Направление Φ_T определяется по правилу буравчика, а I_2 по правилу правой руки.

Трансформатор тока конструктивно представляет собой стальной сердечник с двумя обмотками: первичной w_1 и вторичной w_2 .

Терминология – намагничивающий ток и ток намагничивания.

Необходимо различать термины "намагничивающий ток" и введенный стандартом на термины и определения для измерительных трансформаторов ГОСТ 18685-73 и "ток намагничивания". Этот стандарт закрепил специальное название "**ток намагничивания**" за **действующим** значением тока, потребляемого **вторичной** обмоткой ТТ, когда на **вторичных зажимах** подведено **синусоидальное** напряжение **номинальной частоты**, причем **первичная обмотка и все остальные обмотки разомкнуты**. Поэтому термин "ток намагничивания" недопустимо использовать в ином смысле, чем это установлено стандартом, в частности, для мгновенных или амплитудных значений тока X_X , или при несинусоидальном напряжении на вторичных зажимах ТТ, или при протекании тока по первичной обмотке, или при работе ТТ под нагрузкой, или в переходных режимах и так далее. Во всех случаях, кроме установленных ГОСТ 18685-73, вместо термина "ток намагничивания" рекомендуется использовать термин "намагничивающий ток", как это принято в литературе по основам электротехники .

ПРОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА (РД 153-34.0-35.301-2002).

При новом включении ТТ и их вторичные цепи проверяются в следующем объеме и такой последовательности:

- а) подбор документации и ознакомление с ней;
- б) внешний осмотр ТТ и их цепей;
- в) предварительная проверка вторичных цепей прозвонкой;
- г) проверка сопротивления и электрической прочности изоляции вторичных обмоток ТТ и их вторичных цепей;
- д) определение полярности выводов первичной и вторичной обмоток;
- е) снятие ВАХ;
- ж) проверка омических сопротивлений вторичных обмоток ТТ;
- з) проверка установленных коэффициентов трансформации ТТ;
- и) проверка установленных ответвлений обмоток ТТ;
- к) определение сопротивления вторичной нагрузки ТТ;
- л) проверка переходных омических сопротивлений обмоток ТТ с переключением первичных обмоток для ТТ на 110 кВ и выше (выполняется службой ремонтов);
- м) проверка правильности сборки вторичных обмоток и цепей нагрузки ТТ;
- н) экспериментальная проверка погрешностей ТТ;
- о) учет погрешности ТТ при настройке уставок защиты;
- п) оформление результатов проверки.

ПРОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА (РД 153-34.0-35.301-2002).

Необходимость проведения при этом работ по пунктам "ж", "з", "и", "к", "л", "н", "о" определяется центральной службой релейной защиты (энергосистемы, МЭС или иного объединения). Центральная служба релейной защиты имеет право назначения дополнительных проверок, общих или местных, которые могут потребоваться в процессе эксплуатации.

При плановых проверках выполняются пункты "а", "б", "г", "е", "ж", "л", "п".

Если для ремонтных работ разбирались вторичные цепи, то дополнительно проверяется правильность их последующей сборки по пункту "м".

После замены ТТ проверка производится по пунктам "б", "г", "д", "е", "з", "и", "л", "м", "п".

Сроки проверок ТТ устанавливаются в соответствии с РД 153-34.0-35.617-2001.

Снятие ВАХ (РД 153-34.0-35.301-2002, пункт 3.7).

Характеристики намагничивания и вольтамперные характеристики.

Характеристика намагничивания представляет собой зависимость магнитной индукции в магнитопроводе ТТ от напряженности магнитного поля.

Согласно ГОСТ 7746-2001 в информационных материалах заводов-изготовителей должны приводиться типовые кривые намагничивания магнитопроводов ТТ для защиты, снятые при практически синусоидальной магнитной индукции, представляющие зависимость амплитуды магнитной индукции B_m от действующего значения напряженности магнитного поля H при номинальной частоте 50 Гц. Типовые характеристики намагничивания являются некоторыми усредненными; чаще они близки к характеристикам магнитопроводов из сталей худшего качества соответствующих марок. Поэтому при использовании типовых характеристик намагничивания для расчетов метрологических характеристик конкретных ТТ не приходится ожидать высокой точности результатов конкретного расчёта.

Более точные результаты получаются при использовании характеристик намагничивания или пропорциональных им вольтамперных характеристик (ВАХ) конкретных ТТ, снятых при практически синусоидальном напряжении при помощи вольтметра, реагирующего на среднее абсолютное значение напряжения, и амперметра, реагирующего на действующее значение тока.

Снятие ВАХ (РД 153-34.0-35.301-2002, пункт 3.7).

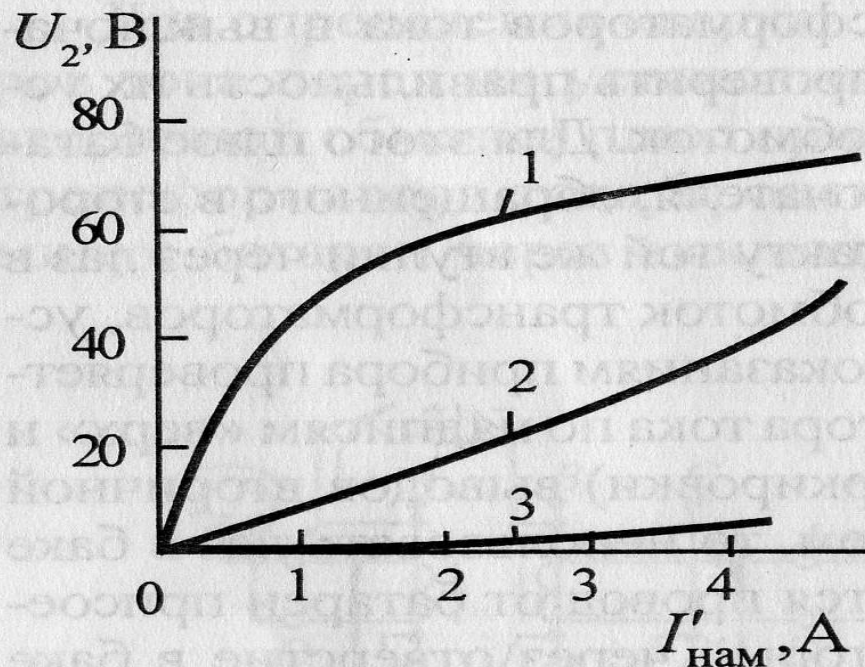


Рис. 10. Вольт-амперные характеристики трансформатора тока ТВ-35,300/5А исправного и при витковых замыканиях во вторичной обмотке:

- 1 — исправный трансформатор тока;
- 2 — закорочен один виток;
- 3 — закорочены восемь витков

Вольт-амперная характеристика представляет зависимость напряжения вторичной обмотки U_2 от тока намагничивания $I_{\text{нам}}$ при разомкнутой цепи вторичной нагрузки. Она является основной при оценке исправности трансформаторов тока. Кроме того, вольт-амперные характеристики в ряде случаев могут быть использованы при определении погрешностей трансформаторов тока. Снижение вольт-амперной характеристики при витковом замыкании происходит потому, что замкнувшиеся витки шунтируют ветвь намагничивания (сопротивление $Z'_{\text{НаМ}}$), что приводит к значительному уменьшению сопротивления трансформатора тока. Отметим, что витковые замыкания при других проверках (например, коэффициента трансформации) обычно не обнаруживаются. Вольт-амперные характеристики должны проверяться при новом включении и полных плановых проверках трансформаторов тока.

Характеристики намагничивания пропорциональны вольтамперным характеристикам (ВАХ) конкретных ТТ, снятых при практически синусоидальном напряжении при помощи вольтметра, реагирующего на среднее абсолютное значение напряжения, и амперметра, реагирующего на действующее значение тока. При этом напряжение измеряется на выводах разомкнутой первичной обмотки или специальной «контрольной» обмотки (в случае встроенных и других ТТ без собственной первичной обмотки), наложенной на время испытаний, или на выводах первичной обмотки.

Показания вольтметра должны быть умножены на отношение чисел витков вторичной и первичной (или «контрольной») обмоток. Напряжение питания подводится ко вторичной обмотке и измеряется протекающий по ней ток I_{02} . При таком способе снятия ВАХ исключается влияние падения напряжения на сопротивлении вторичной обмотки и измеряется фактически ЭДС, среднее абсолютное значение которой пропорционально амплитуде магнитной индукции. При отсутствии насыщения магнитопровода ТТ сопротивление вторичной обмотки ТТ Z_{T2} обычно пренебрежимо мало в сравнении с сопротивлением ветви намагничивания Z_{02} , и измерение ЭДС можно заменить измерением напряжения на выводах вторичной обмотки U_2 , принимая $E_2 = U_2$.

Координаты ВАХ $E_2(I_{02})$, снятой указанным здесь способом, пропорциональны координатам характеристики намагничивания ТТ, т. е. координатам зависимости B_m от H .

Для снятия ВАХ должна применяться испытательная схема с мощным автотрансформатором или автотрансформаторами, как обеспечивающая наименьшее искажение синусоиды напряжения. Схемы с реостатом и потенциометром не рекомендуются.

В любом случае форму кривой напряжения полезно контролировать электронным осциллографом.

При сборке испытательной схемы для проверки ВАХ следует всегда заботиться о малом потреблении вольтметра и включать вольтметр так, чтобы его ток не измерялся вместе с током $I_{нам}$. Это особенно важно при снятии начальной части характеристики намагничивания до значений тока 0,2 — 0,3 А.

Характеристика снимается до насыщения. Поданное напряжение не должно быть больше 1800 вольт. Нельзя проводить отключение тока (питающего напряжения) толчком. Улучшение процесса: Перед началом снятия характеристики произведено размагничивание сердечника плавной подачей напряжения от нуля до насыщения сердечника и обратным плавным снижением до нуля. После снятия характеристики произведено размагничивание сердечника.

При новом включении ВАХ следует снимать на рабочем коэффициенте трансформации до значения тока $I_{02} = 0,1K I_{2 \text{ ном}}$, где K — предельная кратность при фактической вторичной нагрузке ТТ (может быть найдена по кривой предельных кратностей). Однако в ряде случаев при $I_{2 \text{ ном}} = 1$ А снять характеристику до указанного значения I_{02} не представляется возможным, так как значение напряжения может быть очень высоким. Подавать напряжения выше 1800 В на вторичные обмотки ТТ недопустимо.

При проверке ВАХ встроенных и других ТТ, имеющих ответвления во вторичной обмотке, напряжение на всей обмотке не следует поднимать выше 1800 В. Наибольшее допустимое напряжение $U_{2 \text{ раб. наиб}}$ (В) для рабочего ответвления определяется по выражению

$$U_{2 \text{ раб. наиб}} = \frac{n_{\text{т. раб}}}{n_{\text{т. наиб}}} = 1800$$

Так, при проверке встроенного ТТ с $n_{\text{т ном}} = 500/1000/1500/2000/1$ на рабочем ответвлении 500/1 не следует повышать напряжение более чем до $U_{\text{раб. наиб}} = \frac{500/1}{2000/1} = 450$ Вольт.

Проверка вольт-амперных характеристик каскадных трансформаторов тока, состоящих из двух ступеней с номинальным вторичным током 1 А и высокими характеристиками намагничивания нижней (второй) ступени, имеет дополнительные особенности.

При новом включении вольт-амперные характеристики таких трансформаторов тока (например, ТФНК-500) должны проверяться отдельно для каждой ступени, для чего вторичную обмотку верхней и первичную обмотку нижней ступеней необходимо разъединить. При плановых проверках вольт-амперные характеристики можно проверять только для трансформаторов тока нижней ступени без отсоединения верхней.

При этом, когда проверяется вольт-амперная характеристика любого из трансформаторов тока нижней ступени, вторичные обмотки остальных трех трансформаторов тока той же нижней ступени должны быть замкнуты на свою нагрузку.

При исправном трансформаторе тока верхней ступени его ток намагничивания не превышает 2-3 % тока намагничивания любого трансформатора тока нижней ступени, поэтому он почти не влияет на вольт-амперные характеристики трансформаторов тока нижней ступени. В то же время возникновение неисправности у трансформатора тока верхней ступени может быть замечено при плановой проверке по изменению вольт-амперных характеристик сразу у всех трансформаторов тока нижней ступени.

Проверять вольт-амперные характеристики допускается с панелей защиты, если падение напряжения в сопротивлении жил кабелей не внесет заметной погрешности (более 1 %) в измерение напряжения U_2 . Как правило, такие проверки возможны при номиналы ном вторичном токе 1 А. При проверке вольт-амперные характеристик трансформаторы тока должны быть полностью от соединены от устройств защиты и автоматики и заземлены.

Напряжение точки излома ВАХ ТТ.

Задаётся одним из двух способов:

1. Как напряжение точки характеристики намагничивания, в которой касательная составляет 45° к оси абсцисс (при логарифмическом масштабе характеристики намагничивания);
2. Как напряжение на выводах трансформатора тока, увеличение которого на 10% вызывает увеличение тока намагничивания на 50%.

Цепи напряжения (идущие от трансформаторов напряжения) служат для питания:

- измерительных приборов (показывающих и регистрирующих) — вольтметров, частотометров, ваттметров, варметров; счетчиков активной и реактивной энергии, осциллографов, телеизмерительных устройств и др.;
- органов напряжения релейной защиты — дистанционной, направленной, максимальной токовой с пуском по напряжению и др.;
- автоматических устройств АПВ, АВР, АРВ, противоаварийной автоматики, автоматической частотной разгрузки (АЧР), регулирования частоты и мощности в энергосистеме, регулирования напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой, блокировочных устройств и др.;
- органов контроля наличия напряжения, устройств синхронизации (ручной и автоматической);
- ТН должен работать в классе точности, соответствующем требованиям, установленным директивными материалами, в зависимости от характера подключенной нагрузки;
- устройств, преобразующих переменный ток в выпрямленный и применяемых в качестве источников оперативного тока.

Назначение и принцип действия трансформатора напряжения.

Трансформатор напряжения служит для понижения высокого напряжения, подаваемого в установках переменного тока на измерительные приборы и реле защиты и автоматики.

Для непосредственного включения на высокое напряжение измерительной и релейной аппаратуры потребовались бы очень громоздкие приборы и реле вследствие необходимости их выполнения с высоковольтной изоляцией. Изготовление и применение такой аппаратуры практически неосуществимо, особенно при напряжении 35 кВ и выше.

Применение трансформаторов напряжения позволяет использовать для измерения на высоком напряжении стандартные измерительные приборы, расширяя пределы измерения; обмотки реле, включаемых через трансформаторы напряжения, также могут иметь стандартные исполнения.

Кроме того, трансформатор напряжения изолирует (отделяет) измерительные приборы и реле от высокого напряжения, благодаря чему обеспечивается безопасность их обслуживания.

Трансформаторы напряжения широко применяются в электроустановках высокого напряжения; от их работы зависит точность электрических измерений и учета электроэнергии, а также надежность действия релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Разводка цепей напряжения.

1. Прокладка вторичных цепей ТН должна выполняться контрольным или силовым кабелем без разделения одной цепи по разным кабелям. Например, трех- или четырехпроводные трехфазные цепи от основных вторичных обмоток ТН должны подаваться на щит в одном кабеле.

Двухпроводная цепь от концов одной обмотки однофазного трансформатора или от дополнительных обмоток, соединенных по схеме разомкнутого треугольника (цепь $3U_0$), также не должна разделяться по разным кабелям.

2. Для предотвращения неправильных действий защиты из-за наводок продольных ЭДС во вторичных цепях ТН. следует:

- в РУ 110 кВ и выше применять во вторичных цепях ТН только кабели в металлической оболочке и заземлять оболочку с обоих концов каждого кабеля. При наличии соединительных муфт оболочка кабелей по обе стороны каждой из них должны быть электрически соединены между собой. При этом использование изолированной металлической оболочки (например, кабеля ААШВ) в качестве одного из проводов вторичной цепи напряжения по соображениям надежности не допускается;

кабели в цепях основных и дополнительных обмоток ТН от шкафа ТН до щита по всей длине прокладывают рядом.

Ранее проложенные в этих РУ кабели, не имеющие металлической оболочки, могут быть оставлены во вторичных цепях ТН, если опыт эксплуатации показал невозможность неправильного действия защиты под влиянием продольных ЭДС.

Конструкция трансформаторов напряжения.

Конструкции (однофазные, трехфазные, НДЕ).

Трансформаторы напряжения могут выполняться как однофазными, так и трехфазными. Однофазные трансформаторы могут подключаться либо по схеме «фаза-земля», либо по схеме «фаза-фаза». Во втором случае изоляция обоих выводов первичной обмотки выполняется на полное линейное напряжение. Начала и концы первичной и вторичной обмоток маркируются у первичной обмотки буквами *A* и *X*, у вторичной – буквами *a* и *x*. Однополярными зажимами являются зажимы «*A*» и «*a*».

Соответственно вектора первичного и вторичного напряжений ТН на схеме изображаются направленными к началам обмоток. И, как уже говорилось, при таких принятых на схеме направлениях вектора первичного и вторичного напряжения на диаграммах совпадают.

В отличие от трансформаторов тока ТН могут иметь как одну, так и две вторичных обмотки на одном сердечнике. Вторая, дополнительная обмотка используется для контроля изоляции в сети с изолированной нейтралью или для организации направленных защит в сети с заземленной нейтралью.

Емкостные отборы напряжения.

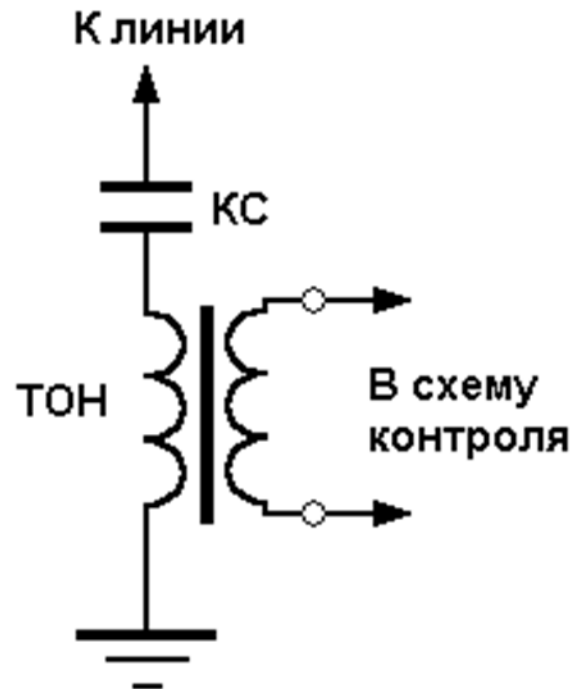
Емкостные отборы предназначены для питания релейной аппаратуры в схемах синхронизации и в схемах АПВ.

Применяются на ВЛ, где не установлены трансформаторы напряжения.

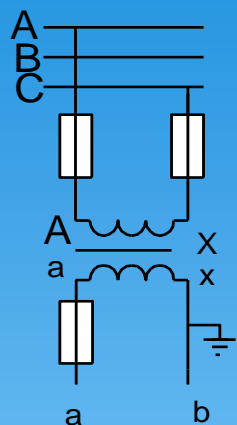
Как правило, это линии 110 – 220 кВ.

Емкостной отбор состоит из двух последовательно соединенных элементов: конденсатора связи КС и трансформатора отбора напряжения (ТОН).

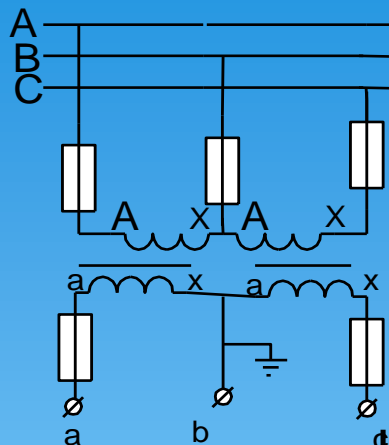
Упрощенная схема отбора.



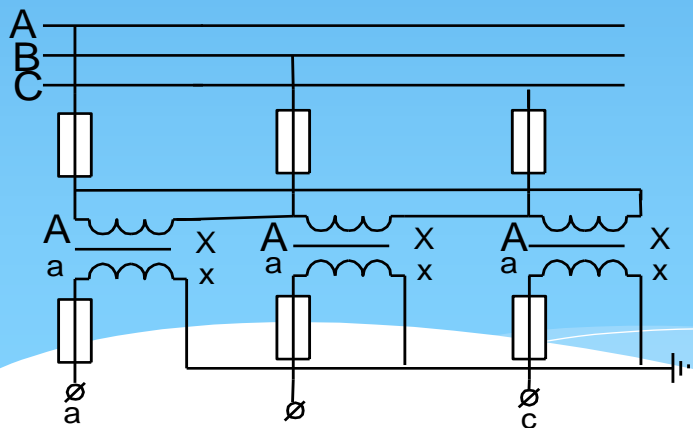
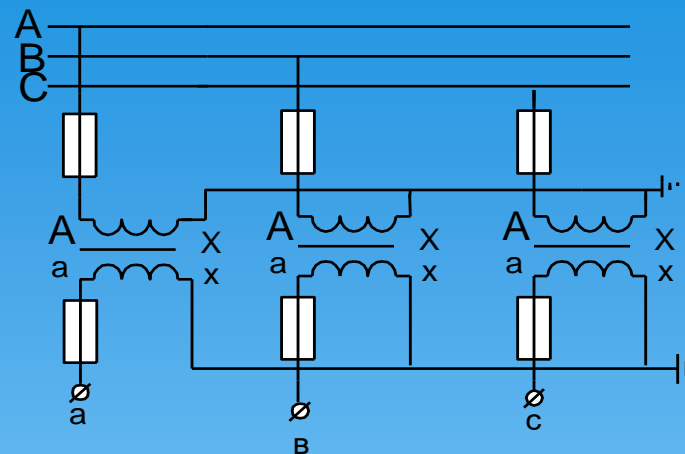
СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ трансформаторов напряжения.



а)



б)

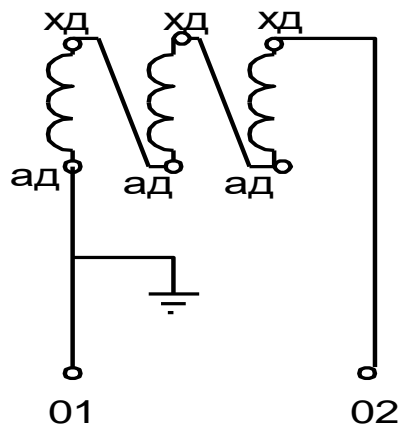
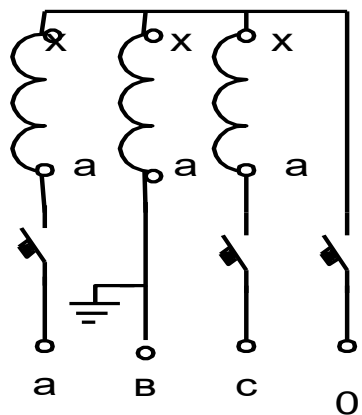
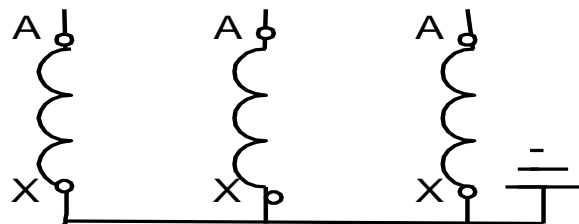


г)

Наиболее употребительными схемами соединений ТН являются «открытый треугольник», «звезда-звезда», «разомкнутый треугольник». Для выполнения этих схем могут использоваться как однофазные, так и трехфазные ТН.

Схема соединения обмоток трансформатора напряжения с двумя вторичными обмотками.

Первичная обмотка и основная вторичная обмотка соединены в звезду. Дополнительная вторичная соединена в схему разомкнутого треугольника (на сумму фазных напряжений). Такое соединение применяется для получения напряжения нулевой последовательности, необходимого для включения реле напряжения и реле мощности защиты от однофазных к.з. в сети с заземленной нейтралью и для сигнализации при однофазных замыканиях на землю в сети с изолированной нейтралью.



Проведение опыта КЗ во вторичных цепях трансформаторов напряжения обязательно для всех трансформаторов, особенно типа НДЕ.

Эти испытания рекомендуется проводить с осциллографированием тока КЗ для трансформаторов напряжения крупных электро-станций и подстанций 110-330 кВ, где защита вторичных цепей от КЗ часто работает на пределе чувствительности.

Проверка работы автоматических выключателей и предохранителей опытом КЗ без осциллографирования, но с измерением тока КЗ обязательна для всех трансформаторов всех напряжений.

Опыт КЗ должен производиться по специальной программе.

Место КЗ должно быть в конце участка сети, защищаемого данным выключателем или предохранителем. Выбирается такой вид КЗ, при котором ток наименьший.

Включение на КЗ производится дополнительным автоматическим выключателем, желательно с дистанционным управлением; должно быть обеспечено отключение КЗ на случай отказа проверяемого выключателя или предохранителя.

ЗАЩИТА ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ ТН.

Для расчета токов КЗ необходимо знать сопротивление трансформатора напряжения Z_T , приведенное к его вторичной обмотке: $Z_T = \frac{U_k U_{\text{н}}^2}{100S}$ где U_k — напряжение КЗ; $U_{\text{н}}$ — номинальное вторичное напряжение трансформатора, В; S — мощность трансформатора напряжения, В-А.

Максимальный ток КЗ у выводов трансформаторов при $U_{\text{н}}$ — номинальное вторичное напряжение (примем 100 В) определяется по уравнению $I_k^{(3)} = \frac{100}{Z_T}$

Минимальный ток будет при двухфазном КЗ между фазами A и C (фаза B заземлена и аппараты защиты в ней не ставятся) и для данной схемы включения определяется по уравнению

$$I_{\#}^{(2)} = \frac{U_{\text{лф}}}{2\sqrt{Z_T^2 + (\Sigma R^2)^2}}$$

Далеко не всегда чувствительность отсечки выключателя, установленного в шкафу трансформатора напряжения, удовлетворяет нормам. Обычно это получается при КЗ в конце длинных кабелей малого сечения, питающих удаленные панели релейной защиты или измерительных приборов.

В этих случаях возможно несколько решений. Если по длинным кабелям питаются устройства релейной защиты, неправильно работающие при повреждениях цепей напряжения, то следует уменьшить сопротивление этих кабелей путем увеличения их сечения или замены алюминиевых кабелей медными, чтобы обеспечить быстрое отключение повреждения.

ЗАЩИТА ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ ТН.

Далеко не всегда чувствительность отсечки выключателя, установленного в шкафу трансформатора напряжения, удовлетворяет нормам. Обычно это получается при КЗ в конце длинных кабелей малого сечения, питающих удаленные панели релейной защиты или измерительных приборов.

В этих случаях возможно несколько решений. Если по длинным кабелям питаются устройства релейной защиты, неправильно работающие при повреждениях цепей напряжения, то следует уменьшить сопротивление этих кабелей путем увеличения их сечения или замены алюминиевых кабелей медными, чтобы обеспечить быстрое отключение повреждения. Возможна и установка дополнительных выключателей на длинных кабелях с минимальным номинальным током расцепителя и минимальным временем срабатывания. Если при КЗ в конце зоны действия отсечки этого выключателя напряжение не менее 0,9 номинального, то такие КЗ могут отключаться и тепловыми расцепителями с коэффициентом чувствительности не менее 5 по ПУЭ.

Для трансформаторов напряжения типа НДЕ действительный ток КЗ из-за насыщения реактора будет значительно меньше расчетного. Следует особо отметить, что при наладке обязательно проверяются опытным путем все расчеты токов КЗ, особенно для трансформаторов НДЕ.

Оперативная блокировка.

Оперативная блокировка. Контактная система разъединителей не имеет дугогасительных устройств, поэтому в случае ошибочного отключения токов нагрузки возникает устойчивая дуга, которая может привести к аварии в распределительном устройстве и несчастным случаям с обслуживающим персоналом. Прежде чем оперировать разъединителем, цепь должна быть разомкнута с помощью выключателя. Оперативная блокировка, независимо от способа ее организации, является дополнительным средством, препятствующим производству ошибочных операций. Оперативные блокировки представляют собой устройства, препятствующие неправильным действиям персонала при осуществлении переключения в схемах электрических соединений. Наиболее характерным видом оперативных блокировок являются блокировки от неправильных операций разъединителями. Устройство осуществляет блокировку операций с КА в зависимости от их положения и от положения смежных частей установки или других КА.

Оперативная блокировка.

Принципы выполнения блокировки заключаются в следующем:

Для разъединителей и заземляющих ножей должна выполняться блокировка, исключающая:

- Оперирование разъединителем под нагрузкой (за исключением тех случаев, когда разъединитель шунтирован другой электрической цепью, не содержащей сопротивления, например шиносоединительным выключателем).
- Включение заземляющего ножа на участке цепи, не отделенном разъединителями от участков, находящихся под напряжением, кроме случаев заземления нейтрали включением заземляющего ножа.
- Возможность подачи напряжения разъединителем на заземленный участок цепи.
- Возможность подачи напряжения выключателем на заземленный участок цепи. Это достигается тем, что от других участков цепей выключатель отделяется с обеих сторон разъединителями, заблокированными с заземляющими ножами, таким образом, чтобы включение заземляющего ножа с одной стороны выключателя оказывалось возможным только при отключенных разъединителях с обеих сторон выключателя, и наоборот, включение разъединителя с одной стороны выключателя было возможно при отключенных заземляющих ножах с обеих сторон выключателя.

Оперативная блокировка.

Виды блокировки :

- **Механическая блокировка разъединителей.**
- **Электромагнитная блокировка разъединителей с использованием электромагнитных замков.**
- **Программная (логическая) блокировка.**



Благодарим за внимание!