

ПРОЕКТ

**РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА.
ПРОВЕРКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И
НАПРЯЖЕНИЯ И ИХ ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ**



**ГПО «БЕЛЭНЕРГО»
Минск**

Ключевые слова: релейная защита, автоматика, проверка, трансформатор тока, трансформатор напряжения, вторичные цепи

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН научно-исследовательским и проектным республиканским унитарным предприятием «БЕЛТЭИ»

2 УТВЕРЖДЕН приказом государственного производственного объединения электроэнергетики «Белэнерго» от _____ № _____ и ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ с _____

3 ВЗАМЕН СТП 34.35.301 (РД 34.35.301) Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты, СТП 34.35.305 (РД 34.35.305) Инструкция по проверке трансформаторов напряжения и их вторичных цепей

Настоящий стандарт не может быть тиражирован и распространен без разрешения ГПО «Белэнерго»

Издан на русском языке

Содержание

1	Область применения	4
2	Нормативные ссылки	4
3	Термины и определения	5
4	Сокращения	5
5	Общие положения	6
6	Трансформаторы тока (ТТ)	6
6.1	Объем и виды проверок ТТ	6
6.2	Внешний осмотр ТТ и их цепей	7
6.3	Предварительная проверка вторичных цепей прозвонкой	7
6.4	Проверка сопротивления изоляции и электрической прочности изоляции вторичных обмоток ТТ и их вторичных цепей	8
6.5	Определение однополярных выводов первичной и вторичной обмоток	8
6.6	Снятие ВАХ	11
7	Трансформаторы напряжения (ТН)	41
7.1	Объем и виды проверок ТН	41
7.2	Внешний осмотр ТН	42
7.3	Определение однополярных выводов ТН	43
7.4	Определение сопротивления КЗ ТН	45
7.5	Проверка маркировки и правильности сборки схемы вторичных цепей	46
7.6	Проверка правильности монтажа схемы переключения цепей с одного ТН на другой	47
7.7	Измерение сопротивления изоляции	48
7.8	Испытание электрической прочности изоляции	48
7.9	Измерение сопротивления вторичных цепей	49
7.10	Проверочные расчеты токов КЗ и защиты во вторичных цепях	49
7.11	Проверка автоматических выключателей, предохранителей и аппаратуры контроля цепей	50
7.12	Проверка под напряжением	52
7.13	Фазировка ТН	60
7.14	Проверка правильности схемы переключения цепей с одного ТН на другой и правильности маркировки на входных выводах панелей	61
7.15	Измерение нагрузки и потерь напряжения во вторичных цепях	62
7.16	Опыт КЗ	65
7.17	Проверка отстройки автоматических выключателей от зарядного тока линии и пусковых токов нагрузки	65
7.18	Оформление результатов проверки	66
	Приложение А (рекомендуемое) Форма паспорта-протокола трансформатора тока	67
	Приложение Б (рекомендуемое) Форма паспорта-протокола трансформатора напряжения	72

СТАНДАРТ ГПО «БЕЛЭНЕРГО»

Релейная защита и автоматика. Проверка измерительных трансформаторов тока и напряжения и их вторичных цепей

Дата введения 2026-__ - __

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает порядок проверки трансформаторов тока и трансформаторов напряжения и их вторичных цепей.

2 Нормативные ссылки

ТКП 427-2022 (33240) Электроустановки. Правила по обеспечению безопасности при эксплуатации

ГОСТ 7746-2015 Трансформаторы тока. Общие технические условия

ГОСТ 1983-2015 Трансформаторы напряжения. Общие технические условия

СТБ 2574-2020 Электроэнергетика. Основные термины и определения

СТП 09110.35.302-09 Типовая инструкция по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики электростанций и подстанций

СТП 33243.20.366-16 Нормы и объем испытаний электрооборудования Белорусской энергосистемы

СТП 33240.20.521-21 Инструкция по диспетчерскому управлению ремонтами и испытаниями энергетического оборудования объединенной энергетической системы Республики Беларусь

СТП 33240.35.521-23 Релейная защита и автоматика. Инструкция по эксплуатации устройств релейной защиты, автоматики и цепей вторичной коммутации

СТП 33240.35.677-24 Релейная защита и автоматика. Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, автоматики, управления и сигнализации электростанций и подстанций 110–750 кВ.

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов ГПО «Белэнерго» (далее – СТП) в электронной информационной системе «Энергодokument», а остальных технических нормативных правовых актов (далее – ТНПА) – на официальном сайте национального фонда технических нормативных правовых актов в глобальной сети Интернет.

Если ссылочные документы заменены (изменены), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться действующими взамен документами. Если

ссылочные документы отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применяют термины, установленные в ТКП 427, СТБ 2574, СТП 33240.35.677, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 вторичные цепи: Совокупность рядов зажимов, электрических проводов и кабелей, соединяющих приборы и устройства управления, цепей электроавтоматики, блокировки, измерения, релейной защиты, контроля и сигнализации.

3.2 трансформатор напряжения измерительный: Трансформатор, в котором при нормальных условиях применения вторичное напряжение практически пропорционально первичному напряжению и при правильном включении сдвинуто относительно него по фазе на угол, близкий к нулю.

3.3 трансформатор тока: Трансформатор, в кото-ом при нормальных условиях применения вторичный ток практически пропорционален первичному току и при правильном включении сдвинут относительно него по фазе на угол, близкий к нулю.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применяют следующие сокращения:

БелАЭС – республиканское унитарное предприятие «Белорусская атомная станция»;

ВАХ – вольт-амперная характеристика;

ИТТ – испытываемый трансформатор тока;

КЗ – короткое замыкание;

КРУ – комплектное распределительное устройство;

КРУН – комплектное распределительное устройство наружной установки;

ЛАТР – лабораторный автотрансформатор;

ЛПА – локальный правовой акт;

НПА – нормативный правовой акт;

РУ – распределительное устройство;

РУП-облэнерго – областные республиканские унитарные предприятия электроэнергетики, входящие в состав ГПО «Белэнерго»;

СН – собственные нужды;

СРЗА – служба релейной защиты и автоматики;

СРЗАИ – служба релейной защиты, автоматики и измерений;

УРЗиА – управление релейной защиты и автоматики аппарата управления ГПО «Белэнерго»;

ХХ – холостой ход;

ЭДС – электродвижущая сила;

ЭТТ – эталонный трансформатор тока;

ЭТЛ – электротехническая лаборатория;
ЭЦ – электрический цех.

5 Общие положения

5.1 Настоящий стандарт распространяется на СРЗА РУП-облэнерго (включая СРЗАИ (ЭТЛ ЭЦ) филиалов РУП-облэнерго), СРЗА ЭЦ БелАЭС и сторонние организации, выполняющие работы по проверке измерительных трансформаторов тока и напряжения РЗА электростанций и подстанций.

5.2 При производстве работ по проверке ТТ, ТН и их вторичных цепей следует руководствоваться требованиями СТП 33240.35.601, СТП 33240.35.677, ТКП 427, иных стандартов ГПО «Белэнерго», ТНПА и ЛПА, инструкциями по эксплуатации ТТ и ТН, технической документацией изготовителей.

5.3 Работы по проверке ТТ, ТН и их вторичных цепей должны производиться с соблюдением требований по охране труда и безопасной эксплуатации электроустановок в порядке, установленном ТКП 427, иными НПА и ТНПА.

5.4 На все работы по проверке ТТ, ТН и их вторичных цепей действующих электроустановок оформляются в установленном порядке заявки в соответствии с СТП 33240.20.521 и СТП 33240.35.521.

5.5 Включение и отключение первичных коммутационных аппаратов, требующиеся по условиям производства работ и выполняемые персоналом РЗА, должны проводиться с разрешения оперативного дежурного персонала.

6 Трансформаторы тока (ТТ)

6.1 Объем и виды проверок ТТ

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

- а) подготовительные работы;
- 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;
- 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.

6.1.2 Необходимость проведения работ по пунктам ж), з), и), к), л), н), о) определяется СРЗА РУП-облэнерго. СРЗА РУП-облэнерго могут быть назначены дополнительные проверки, которые могут потребоваться в процессе эксплуатации.

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

Если для ремонтных работ производилась разборка вторичных цепей, то дополнительно проверяется правильность их последующей сборки по пункту м).

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

6.1.5 Сроки проверок ТТ устанавливаются в соответствии с СТП 33240.35.677.

6.1.6 Подготовительные работы включают подготовку необходимой документации (принципиальных и монтажных схем включения вторичных цепей ТТ, данных о значениях токов КЗ, уставок защит, обслуживаемых данным ТТ, и т.д.) и испытательной аппаратуры, измерительных приборов и инструментов.

6.2 Внешний осмотр ТТ и их цепей

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие ТТ следующим требованиям:

- трансформатор должен быть снабжен табличкой с маркировкой по ГОСТ 7746;
- выводы первичной и вторичной обмоток должны быть исправными и иметь маркировку, соответствующую ГОСТ 7746;
- выводы вторичных обмоток, особенно встроенных, должны быть надежно защищены от попадания в них масла и влаги;
- кабельные разделки не должны пропускать пропиточную массу из кабелей с бумажной изоляцией;
- кабели во вторичных цепях ТТ должны быть включены так, чтобы токи каждой вторичной обмотки замыкались только через предназначенную для этой обмотки нагрузку;
- заземляющий зажим (если он предусмотрен) должен быть подключен к заземлению и иметь соответствующее обозначение.

6.3 Предварительная проверка вторичных цепей прозвонкой

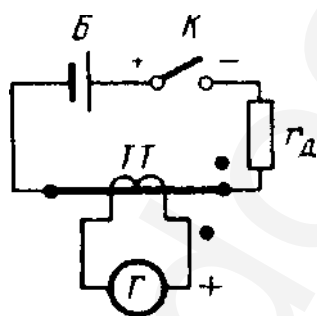
Проверка схемы соединений вторичных цепей производится по программам в соответствии с СТП 33240.35.677.

6.4 Проверка сопротивления изоляции и электрической прочности изоляции вторичных обмоток ТТ и их вторичных цепей

Проверка сопротивления изоляции и электрической прочности изоляции вторичных цепей производится по программам в соответствии с СТП 33240.35.677 и СТП 33243.20.366.

6.5 Определение однополярных выводов первичной и вторичной обмоток

6.5.1 Для определения однополярных выводов первичной и вторичной обмоток ТТ используется принципиальная схема, приведенная на рисунке 1.



К – выключатель; Б – источник постоянного тока

Рисунок 1 – Схема определения однополярных выводов обмоток

Выключатель K может быть любого типа. Источником постоянного тока B может быть батарея сухих элементов или аккумуляторная батарея с известной полярностью выводов. Добавочное сопротивление r_d ограничивает ток до значения, безопасного для аккумуляторов. В качестве измерительного прибора должен применяться магнитоэлектрический миллиамперметр или вольтметр с известной полярностью выводов, желательно с нулем на середине шкалы. Если полярность выводов прибора или источника тока не обозначена или вызывает сомнение, ее необходимо проверить.

При кратковременном замыкании первичной цепи выключателем K стрелка прибора кратковременно отклоняется в какую-либо сторону. Подбирается такое включение прибора, чтобы при замыкании первичной цепи стрелка прибора отклонялась вправо. В этом случае однополярными будут выводы первичной и вторичной обмоток, присоединенные к плюсу батареи и плюсу прибора. При размыкании первичной цепи стрелка прибора будет отклоняться влево. Если нет прибора с двусторонней шкалой, можно использовать прибор с односторонним отклонением стрелки. Необходимо при этом учитывать, что при отклонении стрелки такого прибора влево она будет ударяться об упор и отбрасываться упором в обратную сторону, вправо. Если у прибора с односторонним отклонением имеется приспособление для установки стрелки на нуль, можно этим

приспособлением сдвинуть стрелку вправо так, чтобы четко было видно, в какую сторону она будет отклоняться.

6.5.2 При определении однополярных выводов ТТ, встроенных во вводы выключателя, батарея должна присоединяться к штырям втулок одной и той же фазы включенного выключателя (рисунок 2).

У встроенных ТТ определение однополярных выводов производится только при сомнении в правильности обозначений изготовителя, после снятия ТТ (например, для сушки) и в других аналогичных случаях.

После установки встроенных ТТ в выключатель (до заливки масла) можно проверить правильность их установки и монтажа выводов вторичных обмоток. Для этого плюс батареи подключается к штырю ввода выключателя, обращенного в сторону шин, а минус – к неподвижному контакту той же втулки через лаз в баке. Прибор подключается к выводам обмоток трансформаторов, установленных на этом вводе (рисунок 3), по показаниям прибора проверяется соответствие установки ТТ по надписям «верх» и «низ» обозначениям (маркировке) выводов вторичной обмотки.

Для определения однополярных выводов ТТ, встроенных в вводы высоковольтного аппарата, батарея подключается к вводам аппарата. Встроенные ТТ на фазных и нулевых выводах силового трансформатора устанавливаются одинаково по надписям изготовителя «верх» и «низ», т.е. полярности их получаются взаимно встречными. При испытании по схемам приведенным на рисунках 4 и 5, стрелка прибора, подключенного к вторичным обмоткам таких ТТ одинаково, например, зажимом «+» к выводу А, будет отклоняться в разные стороны. Эту особенность необходимо учитывать при определении полярности встроенных ТТ. Если обмотки трансформатора имеют выведенный нуль, то плюс батареи следует подключать поочередно к вводам фаз А, В, С трансформатора (автотрансформатора), а минус – к вводу нейтрали в соответствии с рисунком 4.

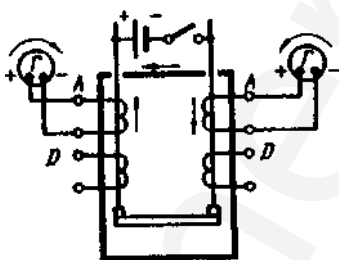


Рисунок 2 – Схема проверки однополярных выводов ТТ, встроенных в выключатель

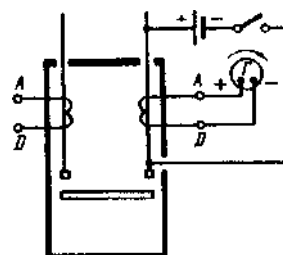


Рисунок 3 – Схема проверки правильности монтажа ТТ, встроенных в вводы выключателя

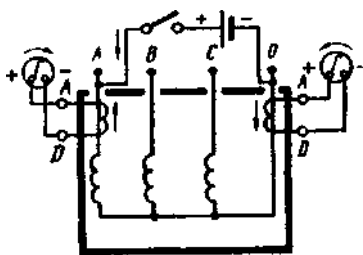


Рисунок 4 – Схема проверки однополярных выводов ТТ, встроенных в высоковольтные вводы трансформатора, при соединении обмоток в звезду

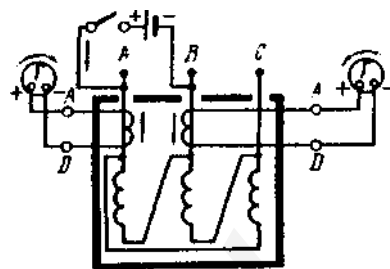


Рисунок 5 – Схема проверки однополярных выводов ТТ, встроенных в высоковольтные вводы трансформатора, при соединении обмоток в треугольник

При определении полярности ТТ, встроенных в вводы силовых трансформаторов, не имеющих выведенной нулевой точки, батарея подключается поочередно к каждой паре фазных вводов трансформатора (рисунок 5) с соблюдением определенной последовательности и полярности. Так, если при включении на фазы *A* и *B* плюс подключается к фазе *A*, то на второй паре фаз *B* и *C* плюс должен подключаться к фазе *B*, на третьей паре фаз *C* и *A* плюс должен подключаться к фазе *C*.

При проверке ТТ, встроенных в трансформаторы, поскольку обмотки трансформатора имеют большое сопротивление по сравнению с первичной обмоткой ТТ, отклонение стрелки может быть слабым. Если отклонения стрелки прибора окажутся недостаточными для четкого определения направления, необходимо применить прибор с меньшими пределами измерений или увеличить напряжение источника тока. Иногда в такой ситуации может оказаться более выгодным производить проверку полярности при разрыве цепи, так как из-за резкого обрыва тока отклонение прибора может оказаться более заметным (но направленным в противоположную сторону).

Однополярный вывод вторичной обмотки в этом случае следует определять у ТТ, установленного на той фазе, к которой подключен плюс батареи. При включении прибора на ТТ той фазы, к которой подключен минус батареи, стрелки прибора будут отклоняться в обратную сторону – влево.

Для определения «верха» и «низа» у встроенных ТТ перед их установкой на место следует ориентироваться по обозначениям выводов вторичной обмотки. Плюс прибора подключается к выводу *A*. В окно ТТ продевается провод, соединяющий между собой плюс и минус батареи через выключатель и резистор. Батарея включается так, чтобы при замыкании цепи стрелка прибора отклонялась вправо. Сторона ТТ, обращенная к плюсу батареи, будет «верхом»; сторона, обращенная к минусу батареи, – «низом». Определение однополярных выводов полностью смонтированного ТТ обязательно для всех ТТ, не имеющих собственной первичной обмотки и устанавливаемых на втулки выключателей и трансформаторов или на шины на месте монтажа.

У ТТ, поступающих от изготовителя полностью собранными, с собственными

первичными обмотками (например, ТПФ, ТПЛ, ТФН и т.п.), однополярные выводы определяются лишь при неуверенности в правильности обозначений изготовителя: например, отсутствуют или неясно выполнены обозначения изготовителя, были повреждены и заменялись выводы вторичных обмоток и т.п. При этом обязательна проверка правильности схемы соединений вторичных цепей.

При определении однополярных выводов ТТ, если оборвана цепь измерительного прибора Г (см. рисунок 1), на зажимах ТТ может кратковременно появиться высокое напряжение. Поэтому при проверках полярности необходимо прекратить все другие работы во вторичных цепях группы проверяемых ТТ, а работающие должны избегать прикосновения к токоведущим частям вторичных цепей и прибора.

6.6 Снятие ВАХ

6.6.1 ВАХ представляет собой зависимость напряжения одной из обмоток (чаще всего вторичной) от намагничивающего тока со стороны этой же или другой обмотки при ХХ ТТ.

6.6.2 Наиболее распространенная неисправность ТТ – витковое замыкание – выявляется по резкому снижению ВАХ и изменению ее крутизны. Снятие характеристики намагничивания магнитопровода ТТ предусматривается для выявления короткозамкнутых витков, оно производится в пределах до начала насыщения, но не выше 1800 В. Снятая характеристика сопоставляется с типовой характеристикой намагничивания или с характеристиками намагничивания исправных ТТ, однотипных с проверяемым, чаще всего с характеристиками ТТ других фаз того же присоединения. Для такого сравнения достаточно совпадения характеристик с точностью в пределах их разброса, установленного изготовителем.

6.6.3 Снятие ВАХ для проверки отсутствия замыкания витков должно проводиться при новом включении и в соответствии со сроками профилактики ТТ. Для целей диагностики замыканий в обмотках несуществен способ подачи напряжения на ТТ, ток и напряжение при снятии характеристик могут фиксироваться приборами любой системы, если повторные измерения при плановых проверках производятся в идентичных условиях. При первом включении сравнение ведется между однотипными ТТ разных фаз. При плановых проверках достаточно проверить одну – две точки ВАХ.

6.6.4 Предназначенные для питания токовых цепей устройств релейной защиты от КЗ должны обеспечивать некоторую предельную погрешность в расчетных точках зоны действия питаемых ими защит. Для расчета погрешности ТТ (если напряжения в расчетных режимах защиты выходят за пределы линейности его магнитопровода) необходимо снять характеристику намагничивания вплоть до расчетного напряжения защиты (но не более чем до 1800 В на всю вторичную обмотку).

Если ВАХ снимается для последующего расчета погрешностей, необходимо учитывать большую зависимость результатов измерений от методики проверки ВАХ. В зависимости от формы кривой напряжения, формы намагничивающего

тока, а также типов используемых измерительных приборов, могут быть получены разные характеристики для одного и того же ТТ. Следует отметить, что ТТ при наиболее распространенном в расчетах релейной защиты значении погрешности в 10 % можно считать линейными источниками тока с синусоидальной вторичной ЭДС. Поэтому ВАХ следует снимать, поддерживая напряжение близким по форме к синусоиде.

При снятии ВАХ в области насыщения синусоида напряжения U_2 всегда искажается. При этом изменяется и форма кривой намагничивающего тока. ВАХ оказывается завышенной. Чем мощнее источник напряжения при снятии характеристики, тем стабильнее синусоидальность напряжения и правильнее результаты. Для использования ВАХ в расчете погрешностей следует снимать ее при питании синусоидальным напряжением от мощного источника, используя приборы, реагирующие на среднее абсолютное значение напряжения и действующее значение тока. Следует также помнить, что при равных мощностях источников регулирование напряжения автотрансформатором искажает форму кривой напряжения меньше, чем регулирование потенциометром, а всего более напряжение искажается при регулировании тока реостатом.

Синусоидальность всех переменных величин при проверках ТТ здесь и далее достаточно контролировать визуально, а при использовании анализаторов гармонического состава следует считать допустимым коэффициент высших гармоник до 5 %.

6.6.5 Необходимо различать магнитные характеристики отдельного магнитопровода и магнитные характеристики магнитопровода в конструкции ТТ. Во всем диапазоне режимов ТТ работает по характеристике конструкции, которая, например, для ТТ 6–10 кВ существенно отличается от характеристики магнитопровода за счет взаимной индукции обмоток по воздуху. Характеристика конструкции снимается как проходная зависимость $E_2(I_{12})$ или $E_{12}(I_2)$, где

$$I_{12}=I_{01} \frac{w_1}{w_2}, \quad I_{12}=E_1 \frac{w_2}{w_1}. \quad (1)$$

В амплитудных величинах характеристики $E_2(I_{12})$ и $E_{12}(I_2)$ идеально совпадают только для ТТ с одним магнитопроводом. В ТТ с несколькими магнитопроводами взаимная однозначность характеристик $E_2(I_{12})$ и $E_{12}(I_2)$ нарушается, поскольку при возбуждении первичной обмотки все магнитопроводы находятся в одинаковом состоянии, а при возбуждении вторичной (одной) обмотки нарушается симметрия состояний магнитопроводов. Характеристика $E_{12}(I_2)$ идет ниже характеристики $E_2(I_{12})$. Для ТТ с несколькими магнитопроводами предпочтительнее характеристика $E_2(I_{12})$. Используя характеристику $E_2(I_{12})$, нужно помнить, что полученные результаты могут отличаться в зависимости от нагрузки соседней обмотки. Это актуально тем более, чем сильнее магнитные поля ТТ. Если не обеспечены реальные нагрузки на соседние вторичные обмотки, то теряется однозначность снятия, например кривой предельной кратности. В то же время характеристики намагничивания конструкции и магнитопровода ТТ в режимах с токовой погрешностью в пределах 10 % практически совпадают, что

позволяет рекомендовать характеристику $E_{12}(I_2)$ и даже $U_2(I_2)$ для инженерных расчетов.

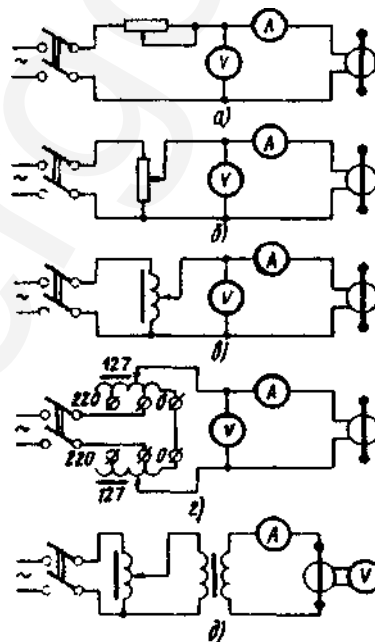
6.6.6 Для снятия ВАХ должна применяться испытательная схема с мощным автотрансформатором или автотрансформаторами (рисунок 6 в или 6 г) как обеспечивающая наименьшее искажение синусоиды напряжения. Схемы с реостатом и потенциометром (см. рисунок 6 а, 6 б) не рекомендуются.

При необходимости снять ВАХ со стороны первичной обмотки следует применять схему, показанную на рисунке 6 д.

В любом случае форму кривой напряжения полезно контролировать электронным осциллографом.

При невозможности обеспечить удовлетворительную синусоидальность напряжения можно рекомендовать измерять напряжение вольтметром, реагирующим на среднее абсолютное значение напряжения U_{cp} , а ток – амперметром, реагирующим на амплитуду тока I_{02max} . Характеристика же должна строиться в действующих значениях этих параметров. Получаемые характеристики не вполне будут соответствовать установленным изготовителем типовым характеристикам намагничивания, но для проверки отсутствия замыкания витков они пригодны.

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. Для этого вольтметр нужно включать так, как показано на схемах, приведенных на рисунке 6.



а – схема с реостатом; б – схема с потенциометром; в – схема с автотрансформатором; г – схема с двумя автотрансформаторами ЛАТР-2; д – схема при подаче тока

Рисунок 6 – Схемы проверки ВАХ

6.6.7 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

$$U_{2\text{раб.наиб.}} = \frac{n_{T.\text{раб.}}}{n_{T.\text{наиб.}}} = 1800. \quad (2)$$

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

$$U_{\text{раб.наиб.}} = \frac{500/1}{2000/1} = 450 \text{ В}. \quad (3)$$

6.6.8 При проверке ТТ с «высокими» значениями ЭДС насыщения может быть снята лишь начальная часть ВАХ. При проверке таких ТТ следует пользоваться повышающим автотрансформатором.

6.6.9 Проверка ВАХ каскадных ТТ, состоящих из двух ступеней (рисунок 7) – с номинальным вторичным током 1 А и «высокими» характеристиками намагничивания нижней (второй) ступени – имеет дополнительные особенности.

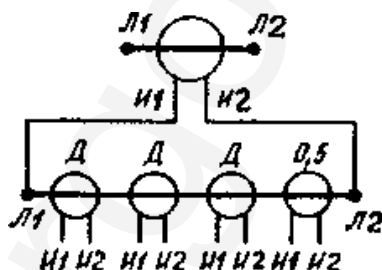


Рисунок 7 – Схема двухступенчатого ТТ ТФНКД-500

При новом включении ВАХ таких ТТ должны проверяться отдельно для каждой ступени. При этом вторичную обмотку верхней ступени и первичную обмотку нижней ступени необходимо разъединить. После соединения нужно повторно снять ВАХ нижней ступени, эталонную для последующих плановых проверок. При плановых проверках ВАХ можно проверять только для ТТ нижней ступени без отсоединения верхней. При этом, когда проверяется ВАХ любой вторичной обмотки нижней ступени, остальные три вторичные обмотки трансформатора должны быть замкнуты на свою нагрузку.

6.6.10 При исправном ТТ верхней ступени его намагничивающий ток не превышает 2–3 % намагничивающего тока любого ТТ нижней ступени, поэтому он почти не влияет на ВАХ ТТ нижней ступени. В то же время возникновение неисправности у ТТ верхней ступени может быть замечено при плановой проверке

по изменению ВАХ сразу у всех ТТ нижней ступени. Такое изменение будет обнаружено лишь при достаточной точности измерений. Поэтому при плановых проверках ВАХ каскадных ТТ рекомендуется пользоваться стабильным составом приборов, сравнивая результаты с эталонной характеристикой. Если при проверке будет замечено хотя бы незначительное снижение характеристики по сравнению со снятой при новом включении, следует отдельно проверить ВАХ ТТ верхней ступени.

6.6.11 Проверку ВАХ допускается производить с панелей защиты, если падение напряжения в сопротивлении жил кабеля не внесет заметной погрешности (более 1 %) в измерение напряжения U_2 . Как правило, такие проверки возможны для ТТ с номинальным вторичным током 1 А.

6.6.12 При проверке ВАХ ТТ должны быть, как правило, полностью отсоединены от устройств защиты и автоматики и разземлены.

6.7 Измерение омических сопротивлений вторичных обмоток ТТ

Знание омических сопротивлений вторичных обмоток необходимо для проведения расчетов по ТТ. Кроме того, это дополнительная проверка переходных сопротивлений самой обмотки. Измерение может производиться одинарным измерительным мостом или методом вольтметра и амперметра. Погрешность приборов должна быть не выше 2 %. Испытание не относится к числу обязательных.

6.8 Проверка установленных коэффициентов трансформации ТТ

6.8.1 Проверкой коэффициента трансформации определяется его соответствие номинальному коэффициенту трансформации. Эта проверка обязательна для всех ТТ, имеющих приспособления для изменения коэффициента трансформации – ответвления от вторичной обмотки, секционирование первичной обмотки и т.п.

6.8.2 В зависимости от назначения ТТ проверка коэффициента трансформации может производиться первичным током от нагрузочного устройства или первичным током нагрузки (последнее, если имеется возможность определять значение первичного тока независимо от проверяемых ТТ).

Возможна также проверка первичным или вторичным напряжением от постороннего источника. При этом рекомендуется применять приборы детекторной системы или электронные. Класс точности измерительных приборов до 2,5.

6.8.3 Проверка может совмещаться с другими проверками – проверкой схемы вторичных соединений, проверкой действия защиты на выключатель первичным током от нагрузочного устройства или проверкой защиты первичным током нагрузки.

Нагрузочное устройство может быть любого типа и конструкции. Плавная регулировка значения первичного тока не обязательна.

Основная принципиальная схема проверки первичным током от нагрузочного устройства приведена на рисунке 8.

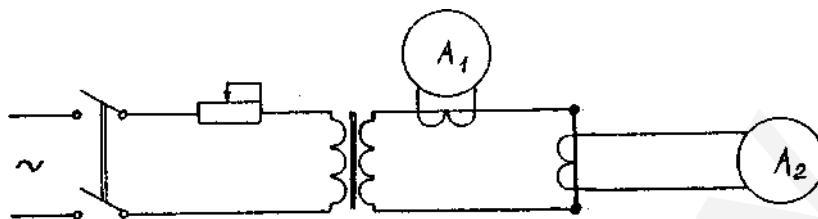


Рисунок 8 – Схема проверки коэффициента трансформации

Значение первичного тока устанавливается достаточным для удобного и точного отсчета показаний измерительных приборов, обычно не менее 25 % номинального тока проверяемого ТТ, где гарантируется его класс точности.

Отношение измеренных величин первичного и вторичного токов дает приблизительное значение коэффициента трансформации:

$$n_{TT} = \frac{I_1}{I_2}. \quad (4)$$

По этой схеме рекомендуется проверять ТТ с приспособлениями для изменения коэффициента трансформации, например встроенные и ТТ на напряжение 110 кВ и более.

Коэффициент трансформации ТТ, уже встроенных в силовые трансформаторы, невозможно проверить первичным током от нагрузочного устройства. В таких случаях рекомендуется проводить проверку методом КЗ. На выводах одной из обмоток силового трансформатора устанавливается трехфазная короткая, в три фазы другой обмотки через амперметры подается одновременно или по очереди напряжение 220 или 380 В от трансформатора СН. Таким образом создается первичный ток ТТ, другим прибором измеряется значение вторичного тока ТТ. По измеренным значениям определяется коэффициент трансформации ТТ.

Предварительно по паспортным данным определяется сопротивление обмоток силового трансформатора. Выбирается закорачиваемая обмотка и обмотка, в которую подается напряжение так, чтобы получить удобный для измерений первичный ток.

Первичные и вторичные токи обычно получаются очень малыми, поэтому необходимо по сопротивлению рассеяния обмоток трансформатора и коэффициенту трансформации ТТ заранее определить значения первичного и вторичного токов и подобрать подходящие пределы измерения приборов. Для увеличения тока следует установить переключатели регулировки напряжения трансформатора в положение, соответствующее минимальному напряжению. Возможно и замыкание накоротко одновременно двух обмоток трехобмоточного трансформатора. При проведении этих опытов следует иметь в виду, что очень малые токи могут быть заметно искажены самим ТТ, который находится вне

диапазона точной работы. Поэтому такой метод следует применять, если нельзя воспользоваться другими способами,

В зависимости от схемы соединения трансформатора и мест установки встроенных ТТ напряжение от СН подается однофазное или трехфазное, на фазу-ноль или на все три фазы трансформатора.

Одновременно с проверкой коэффициента трансформации ТТ можно снять векторные диаграммы, проверить защиты трансформатора, например дифференциальную, или проверить правильность сборки вторичных цепей.

При таких испытаниях необходимо принять специальные меры к обеспечению безопасности работ, поскольку при случайном размыкании закороченной обмотки на ее выводах, а также на выводах третьей обмотки трехобмоточного трансформатора может появиться высокое напряжение, опасное для жизни. Поэтому не рекомендуется подача напряжения в обмотку низшего напряжения трансформатора.

Принципиально вместо напряжения СН 380 В может быть использовано напряжение 6 или 10 кВ. Но для этого требуется надежный монтаж временной подводки высокого напряжения, повышается опасность для персонала и требуется значительная мощность источника напряжения. Поэтому такой способ может применяться лишь в каких-то особых случаях, например при совмещении проверки ТТ с проверкой защит трансформатора под нагрузкой.

Если проверка на коротку невозможна, следует проверять ТТ первичным током нагрузки. При проверке током нагрузки значения первичного тока следует определять по показаниям приборов, включенных на другие ТТ, например на ТТ питающей линии, ТТ со стороны низшего напряжения этого же трансформатора с учетом его действительного коэффициента трансформации и схемы соединений. В крайнем случае допускается сравнивать показания приборов, включаемых на все встроенные в трансформатор ТТ (обычно они устанавливаются по два на каждую фазу трансформатора).

Если приборы включаются на разные фазы поочередно, то необходимо обеспечить постоянное значение нагрузки.

6.8.4 Проверка может быть совмещена с проверкой защит током нагрузки. Так же проверяется коэффициент трансформации ТТ, питающих защиты с реле, встроенными в привод выключателя, максимальные токовые и другие защиты, требующие проверки отключения первичным током.

6.8.5 Проверка коэффициента трансформации от нагрузочного устройства обязательна для ТТ при отсутствии паспортов изготовителя, обозначений ответвлений или секций обмоток и т.п.

6.8.6 В целях экономии времени и уменьшения возможности ошибок при измерении первичного и вторичного токов рекомендуется применение приборов с измерительными клещами. Обязательно применение таких приборов для измерения вторичного тока при проверке действия защиты на отключение выключателя первичным током.

6.8.7 Возможно определение коэффициента трансформации методом измерения не токов, а напряжений. Измерение производится по принципиальной

схеме (рисунок 9). Измерение можно совместить со снятием ВАХ.

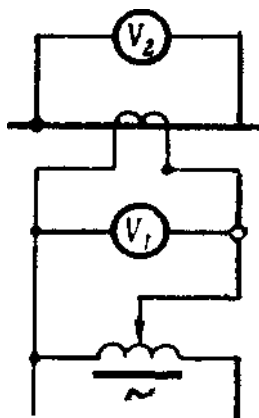


Рисунок 9 – Схема проверки коэффициента трансформации измерением напряжений

Во вторичную обмотку подается регулируемое переменное напряжение, измеряемое вольтметром V_1 , на первичную обмотку включается вольтметр V_2 , коэффициент трансформации:

$$n_m = \frac{U_1}{U_2}. \quad (5)$$

Возможен и обратный вариант – с подачей напряжения в первичную обмотку через понижающий трансформатор. Такой вариант требует внимательности от экспериментатора, чтобы не получить на вторичной стороне слишком большого напряжения, и не дает никаких преимуществ, поскольку все равно нужен вольтметр с малым пределом измерения.

Измерение напряжения U_1 может производиться любым прибором, напряжение U_2 обычно очень мало (менее 1 В), в соответствии с этим следует подобрать шкалу вольтметра. Сопротивление вольтметра V_2 должно быть как можно большим, чтобы результаты измерений не искажались за счет падения напряжения в первичной обмотке от тока, потребляемого вольтметром V_2 (сопротивление вольтметра V_2 должно быть не меньше 20 кОм/В). Для таких измерений нужно использовать электронные приборы или приборы детекторной системы с классом точности до 2,5. Чтобы не было искажений от насыщения магнитопровода трансформатора, напряжение, подаваемое во вторичную обмотку, должно быть меньше напряжения, при котором начинается насыщение магнитопровода. Это напряжение определяется по ВАХ.

Таким способом определяется коэффициент трансформации у опорных ТТ. Для встроенных ТТ после установки использование указанного метода нецелесообразно – результаты измерений будут значительно искажены за счет потери напряжения U_2 в обмотках силового трансформатора.

Для измерения коэффициента трансформации встраиваемых ТТ, еще не установленных на свое место, необходимо изготавливать временную первичную обмотку из провода, устанавливаемого точно по оси отверстия магнитопровода.

Отклонение первичной обмотки от центра может вызвать искажения за счет полей рассеяния вторичной обмотки, особенно если измерения производятся на промежуточных отпайках. Искажения результатов измерений могут быть и за счет посторонних магнитных полей, например при работе в действующем РУ 6–10 кВ с большими токами нагрузки.

6.9 Проверка установленных ответвлений обмоток ТТ

6.9.1 Для определения или проверки обозначений ответвлений от вторичной обмотки ТТ, главным образом встроенных рекомендуются использовать два основных способа: по распределению напряжения в обмотке и по полярностям ответвлений.

6.9.2 Схема проверки по первому способу (по распределению напряжения в обмотке) приведена на рисунке 10. Регулируемое напряжение подается от автотрансформатора на любые два ответвления вторичной обмотки. Значение тока в обмотке контролируется по амперметру и не должно превышать номинального вторичного тока ТТ.

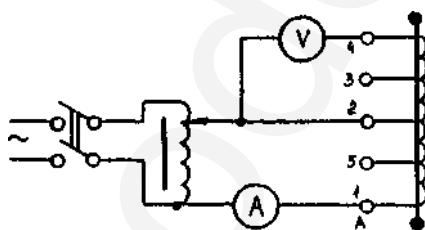


Рисунок 10 – Схема определения ответвлений по распределению напряжений

Этот метод основан на том, что отмотка витков для компенсации погрешностей всегда производится от начального вывода А. При определении ответвлений этим методом необходимо учитывать основные условия:

- а) первичная обмотка проверяемого ТТ должна быть разомкнута;
- б) этим методом можно определить только порядок ответвлений и обозначить их принятым способом;
- в) если известен номинальный первичный ток ТТ и его исполнение, то можно определить коэффициент трансформации на каждом ответвлении по данным изготовителя о числе витков. Определить коэффициент трансформации, не зная числа вторичных витков или номинального тока ТТ, этим методом невозможно;
- г) для правильного определения выводов следует пользоваться данными изготовителя о числе витков обмотки. Если таких данных нет, а известен наибольший номинальный коэффициент трансформации, то для одновитковых ТТ полное число витков можно принять приблизительно равным коэффициенту трансформации.

Один вывод вольтметра подсоединяется к выводу автотрансформатора, другой – поочередно ко всем остальным ответвлениям обмотки. В данном случае

вторичная обмотка ТТ с ответвлениями является автотрансформатором и напряжение на ней распределяется пропорционально числу витков. Максимальному напряжению соответствуют начало и конец обмотки. Питание от автотрансформатора переключается на эти ответвления, для удобства работы напряжение устанавливается пропорциональным числу витков обмотки, например 1 В на 1 виток.

Вольтметром измеряется напряжение между каждым из этих ответвлений и всеми остальными. Показания вольтметра будут пропорциональны (равны при подаче напряжения 1 В на 1 виток) количеству витков вторичной обмотки между ответвлениями.

По числу витков вторичной обмотки определяются обозначения выводов и коэффициент трансформации на этом ответвлении. Необходимо учитывать, что у встроенных ТТ число витков вторичной обмотки обычно меньше числа витков, определенных по теоретическому коэффициенту трансформации. Число витков уменьшается для снижения погрешности по коэффициенту трансформации. Отмотка витков для компенсации погрешностей всегда производится от начального вывода А. Это обстоятельство используется для определения условного «начала» обмотки, обозначаемого буквой А.

Для удобства рекомендуется результаты измерений записывать в виде таблицы.

Пример. В качестве примера приведены результаты определения выводов для ТТ ТВ-35, встроенного в выключатель ВМ-35. Проверяемый ТТ имеет первичный ток 600 А, полное число витков 119 и пять выводов вторичной обмотки. Выводы в произвольном порядке обозначаются цифрами 1, 2, 3, 4, 5.

На выводы 2 и 4 подается напряжение 50 В; вольтметр подключается к выводу 2 и всем остальным, результаты измерений записываются в таблицу 1.

Таблица 1

<i>Номера выводов</i>	<i>Показания вольтметра, В</i>
<i>2–1</i>	<i>47</i>
<i>2–2</i>	<i>0</i>
<i>2–3</i>	<i>17</i>
<i>2–4</i>	<i>50</i>
<i>2–5</i>	<i>15</i>

Наибольшую сумму показаний вольтметра получаем при измерении напряжений с выводов 2–1 и 2–4. Следовательно, 1 и 4 являются выводами от полного числа витков.

Питание переключается на выводы 1–4, автотрансформатором устанавливается напряжение 119 В (число витков всей обмотки по данным изготовителя). Результаты измерений записываются в таблицу 2.

Таблица 2

Номера выводов	Показания вольтметра, В
1–2	58
1–3	79
1–4	119
1–5	39
4–1	119
4–2	61
4–3	40
4–5	80

Из таблицы 2 видно (по возрастанию напряжения), что ответвления, начиная от вывода 1, следуют в порядке 1, 5, 2, 3, 4.

Для определения вывода А сравниваются показания вольтметра на ответвлениях 1–5 и 4–3.

Показания вольтметра на ответвлении 1–5 были меньше, чем на ответвлении 4–3.

Следовательно, вывод 1 следует обозначить А, вывод 5–Б, вывод 2–В, вывод 3–Г и вывод 4–Д.

6.9.3 Схема определения ответвлений по их взаимным полярностям приведена на рисунке 11.

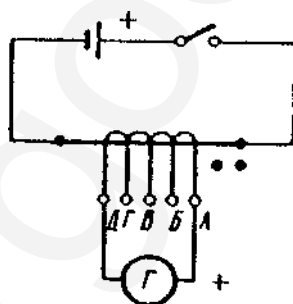


Рисунок 11 – Схема определения ответвлений по полярностям

Если известны «верх» и «низ» встроенного ТТ, то можно определить неизвестные ответвления его вторичной обмотки по их полярности. Выводы вторичной обмотки обозначаются произвольно, например цифрами 1, 2, 3, 4, 5. Плюс измерительного прибора подключается к выводу 1, второй вывод – поочередно к другим выводам и определяется знак отклонения стрелки прибора при замыкании ключа в первичной цепи. Затем плюс прибора подключается к выводу 2 и определяется знак показания прибора при подключении второго вывода и замыкании первичной цепи, и так далее до вывода 5.

Результаты измерений, знаки отклонения прибора заносятся в таблицу.

Пример заполнения таблицы:

		Минус прибора подключен к выводам номер				
		1	2	3	4	5
Плюс прибора подключен к выводам номер	1		+	-	+	+
	2	-		-	+	-
	3	+	+		+	+
	4	-	-	-		-
	5	-	+	-	+	

По числу положительных и отрицательных отклонений прибора определяются ответвления.

Ответвление, дающее все положительные отклонения прибора, будет выводом А, а все отрицательные – выводом Д.

Ответвление, дающее три положительных и одно отрицательное отклонения, будет В и т.д.

В примере, данном в таблице, ответвления следует обозначить: 3→А, 4→Д, 1→В, 5→В, 2→Г.

6.10 Определение сопротивления вторичной нагрузки на ТТ

6.10.1 Основные схемы и расчетные выражения для определения значения вторичной нагрузки от постороннего источника тока даны в таблице 1.

Таблица 1 – Определение нагрузки на ТТ при питании от постороннего источника тока

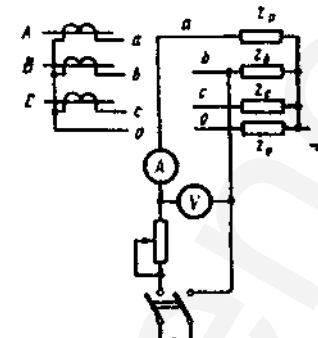
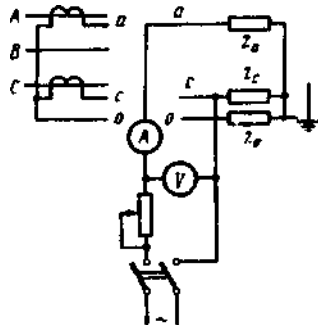
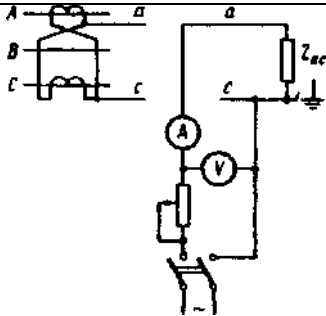
Схема измерений	Измеренное	Сопротивление нагрузки
	I	$Z_a = \frac{U_{ab} - U_{bc} + U_{ca}}{2I}$
	U_{ab}	
	U_{bc}	$Z_{ab} = \frac{U_{bc} - U_{ca} + U_{ab}}{2I}$
	U_{ca}	$Z_c = \frac{U_{ca} - U_{ab} + U_{bc}}{2I}$
	I	$Z_{a0} = \frac{U_{a0}}{I}$
	U_{a0}	
	U_{b0}	$Z_{b0} = \frac{U_{b0}}{I}$

Схема измерений	Измеренное	Сопротивление нагрузки
	U_{c0}	$z_{c0} = \frac{U_{c0}}{I}$
	I U_{ac} U_{c0} U_{a0}	$z_a = \frac{U_{ac} - U_{c0} + U_{a0}}{2I}$ $z_{ab} = \frac{U_{c0} - U_{a0} + U_{ac}}{2I}$ $z_c = \frac{U_{a0} - U_{ac} + U_{c0}}{2I}$ $z_{ac} = \frac{U_{ac}}{I}$ $z_{a0} = \frac{U_{a0}}{I}$ $z_{c0} = \frac{U_{c0}}{I}$
	I U_{ac}	$z_{ac} = \frac{U_{ac}}{I}$

Значение тока должно быть равно номинальному току при измерении сопротивления нагрузки, мало зависящей от тока (реле тока, измерительные приборы, большинство дистанционных реле и реле направления и т.п.).

Если такого значения тока недостаточно для точного отсчета показаний приборов, то ток следует увеличить до необходимого значения. Время протекания увеличенного тока должно быть минимальным, достаточным лишь для измерения показаний приборов.

Сопротивление нагрузки ТТ, питающих реле, у которых значение сопротивления в значительной степени зависит от силы тока и от положения движущихся деталей магнитопровода, следует определять при значениях тока, на 10–20 % превышающих значение тока срабатывания реле при втянутых деталях подвижного сердечника, чтобы получить максимальное значение сопротивления при срабатывании реле.

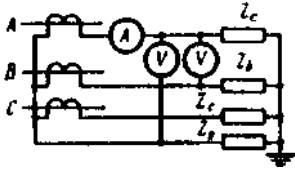
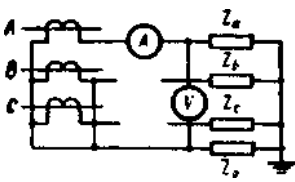
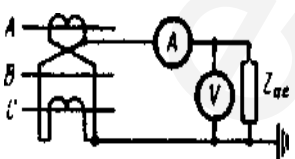
Необходимо учитывать, что сопротивления нагрузки следует определять при

кратностях первичного тока, соответствующих току срабатывания реле. Для проверки ТТ при больших кратностях следует определить сопротивление нагрузки ТТ, соответствующее этим кратностям.

Определение сопротивления нагрузки следует вести при правильной синусоидальной форме тока. Регулировать ток нужно реостатом или линейным дросселем: так проще обеспечить синусоидальную форму тока в нелинейной нагрузке.

6.10.2 Основные схемы и расчетные выражения для определения сопротивления нагрузки ТТ при обтекании этого ТТ первичным током нагрузки приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Определение нагрузки на ТТ током рабочей нагрузки

Схема измерений	Измеренное	Сопротивление нагрузки
	I, U_{a0}	$z_a = \frac{U_{a0}}{I}$
	U_{b0}, U_{c0}	$z_b = \frac{U_{b0}}{I}$ $z_c = \frac{U_{c0}}{I}$
	I $U_{ab} = U_{bc} = U_{ca}$	$z_a = z_b = z_c = \frac{U_{ab}}{\sqrt{3}I}$
	I, U_{a0}	$z_a + z_0 = \frac{U_{a0}}{I}$
	U_{b0}	$z_b + z_0 = \frac{U_{b0}}{I}$
	U_{c0}	$z_{c0} + z_0 = \frac{U_{c0}}{I}$
	I, U_{ac}	$z_{ac} = \frac{U_{ac}}{I}$

Вольтметр в этих схемах следует включать как можно ближе к ТТ. Измерять этим способом сопротивление нагрузки, изменяющееся при изменении тока, нецелесообразно ввиду отсутствия возможности регулирования силы тока нагрузки.

При измерении сопротивления нагрузки, создаваемой дифференциальными защитами, следует принять меры для исключения влияний других плечей защиты: отключить или закоротить соответствующие цепи.

6.11 Проверка переходных омических сопротивлений первичных обмоток ТТ, имеющих переключение (для ТТ на 110 кВ и выше)

Проверка переходных омических сопротивлений переключателей секций первичных обмоток ТТ производится приборами, применяемыми для измерения переходных сопротивлений высоковольтной аппаратуры, например двойными мостами постоянного тока. Значение переходных сопротивлений не должно превышать значений, установленных изготовителем.

6.12 Проверка правильности сборки вторичных обмоток и цепей нагрузки ТТ

Проверка правильности соединения вторичных токовых цепей обязательна для всех обмоток всех ТТ без исключения.

В зависимости от наличия аппаратуры, конструкции ТТ, способов проверки защиты и автоматики, питающихся от проверяемых ТТ, и других местных условий эта проверка может выполняться от постороннего источника тока или от первичного тока рабочей нагрузки.

6.12.1 Проверка правильности сборки вторичных цепей током от постороннего источника

Проверку правильности сборки вторичных цепей током от постороннего источника рекомендуется совмещать с другими проверками – проверкой действия защиты на выключатель, проверкой сложных защит под нагрузкой и др.

Проверка первичным током от нагрузочного устройства обязательна для ТТ, питающих защиты, которые опасно проверять под нагрузкой, например встроенные в силовое оборудование защиты и т.д.

Для всех ТТ, питающих защиты, проверяемые под нагрузкой, рекомендуется проводить проверку правильности схемы включения вторичных цепей от постороннего источника до постановки под нагрузку.

Основные схемы проверки правильности соединения вторичных цепей от нагрузочного устройства, а также наиболее часто встречающиеся ошибки и способы их определения приведены в таблице 3.

Способ проверки состоит в следующем: в зависимости от схемы соединения вторичных обмоток первичные обмотки ТТ соединяются по определенной схеме и в них подается однофазный ток от нагрузочного устройства. Вторичные цепи должны быть полностью собраны, заземления вторичных цепей восстановлены.

В качестве источника тока могут использоваться любые нагрузочные трансформаторы достаточной мощности.

Вторичный ток удобно проверять с помощью прибора вольтамперметра с малыми клещами последовательно по всей цепи нагрузки ТТ, проверяя тем самым правильность монтажа панели. Применение таких приборов позволяет производить измерение вне и внутри панелей защиты практически при любой ее монтажной схеме без переключений во вторичных цепях. По результатам измерений, пользуясь схемой, можно определить правильность сборки схемы и найти ошибки. Обнаруженные ошибки исправляются, и измерение повторяется.

Для увеличения первичного тока все временные соединения первичных обмоток ТТ выполняются проводами большого сечения и минимальной длины. Необходимо обеспечить минимальное переходное сопротивление контактов временной схемы, нагрузочное устройство устанавливается как можно ближе к ТТ.

Проверка по приводимым в таблице 3 испытательным схемам проводится так, чтобы все ветви вторичной цепи проверялись на обтекание их током. Этим одновременно проверяется и отсутствие обрывов.

Если необходимо отступить от рекомендуемых схем проверки, то новые схемы следует составлять по тому же принципу. Необходимо учитывать при испытании, что вторичные обмотки ТТ могут оказаться разомкнутыми, поэтому сначала первичный ток дается небольшой и увеличивается до необходимого значения лишь после того, как по показаниям приборов можно будет убедиться, что вторичные цепи ТТ не разомкнуты.

Основные схемы проверки правильности соединения вторичных цепей первичным током нагрузки даны в таблице 4.

Для простых максимальных токовых защит достаточно измерить вторичные токи амперметром; для сложных защит кроме измерений токов необходимо снять векторную диаграмму токов. Значение первичной нагрузки должно обеспечивать достаточно точный отсчет показаний измерительных приборов. Желательно, чтобы нагрузка была симметричной по фазам и неизменной по значению.

Особенностью схем является проверка целости нулевого провода. Отсутствие тока небаланса может быть вызвано обрывом нулевого провода либо местными условиями – строго симметричная нагрузка, одинаковые характеристики ТТ, малое значение первичной нагрузки и т.д. Если ток в нулевом проводе измерить не удастся, то необходимо убедиться в исправности нулевого провода путем искусственного увеличения тока небаланса. Если заземление вторичных обмоток ТТ установлено вблизи ТТ, то на панели защиты достаточно заземлить одну из фаз вторичных цепей. Тогда в нулевом проводе появится ток. Вместо заземления фазы можно закоротить один из ТТ на ближайшей к нему сборке зажимов. В ряде случаев для увеличения тока небаланса достаточно включить в одну из фаз сопротивление 5–10 Ом. Трансформатор в этой фазе перегружается, возрастает его погрешность и увеличивается ток небаланса в нулевом проводе.

Такие же способы проверки исправности токовых вторичных цепей (измерением токов в фазах и в нуле, а при необходимости и снятием векторных диаграмм) применимы и для ТТ, встроенных в силовые трансформаторы, при создании во всех трех фазах малых первичных токов.

Таблица 3 – Проверка схемы соединений ТТ от постороннего источника тока

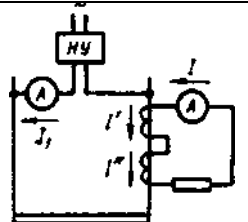
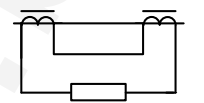
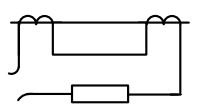
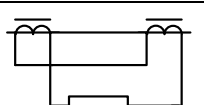
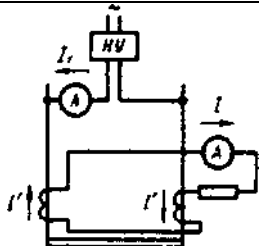
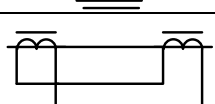
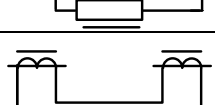
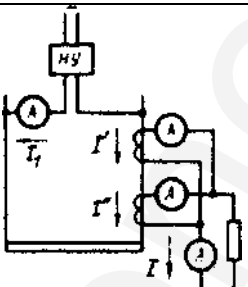
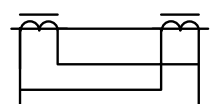
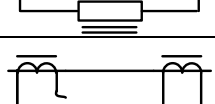
Схема соединений ТТ	Схема измерений	Результаты измерений	Действительная схема	Заключение по результатам измерений
Последовательное включение двух ТТ на одной втулке		$I = I' = I'' = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Правильное последовательное включение двух ТТ на фазу
		$I = I' = I'' = 0$		Обрыв
		$I = I' = I'' \geq 0$		Изменена полярность одного ТТ
Последовательное включение двух ТТ на разных втулках		$I = I' = I'' = \frac{I'_1}{n_{TT}}$		Правильное последовательное включение двух ТТ на фазу
		$I = I' = I'' = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Закорочен один ТТ
		$I = I' = I'' \geq 0$		Изменена полярность одного ТТ
Параллельное включение двух ТТ на одной втулке		$I' = I'' = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Правильное параллельное включение двух ТТ на фазу
		$I = I' + I'' = \frac{2I_1}{n_{TT}}$		Обрыв

Схема соединений ТТ	Схема измерений	Результаты измерений	Действительная схема	Заключение по результатам измерений
		$I = I' = \frac{I_1}{n_{ТТ}}$ $I'' = 0$		Изменена полярность одного ТТ
Параллельное включение двух ТТ на разных втулках		$I' = I'' = \frac{I'_1}{n_{ТТ}}$ $I = I' + I'' = \frac{2I_1}{n_{ТТ}}$ $I'' \approx 0$		Правильное параллельное включение двух ТТ на фазу
		$I'' = \frac{I_1}{n_{ТТ}}$ $I \cong \frac{I_1}{n_{ТТ}}$		Закорочен один ТТ
		$I' = I'' = \frac{I_1}{n_{ТТ}}$ $I = 0$		Изменена полярность одного ТТ
Соединение трех ТТ в звезду		$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{ТТ}}$ $I_0 = 3 \frac{I_1}{n_{ТТ}}$		Правильно собрана схема звезды

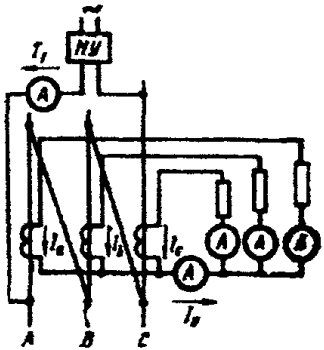
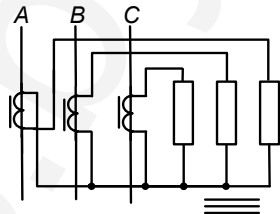
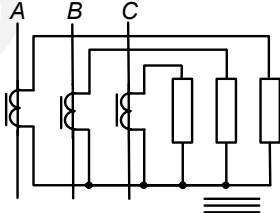
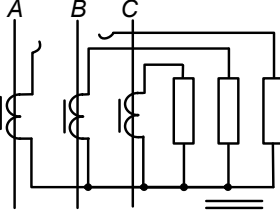
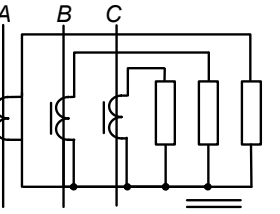
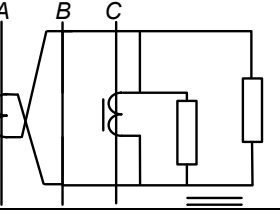
Схема соединений ТТ	Схема измерений	Результаты измерений	Действительная схема	Заключение по результатам измерений
		$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_0 = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Изменена полярность одного ТТ
		$I_a = I_b = I_c = I_0 \approx 0$		Обрыв нулевого провода
		$I_a = 0$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_0 = 2 \frac{I_1}{n_{TT}}$		Обрыв цепи ТТ фазы А
		$I_a \geq 0$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_0 \geq 2 \frac{I_1}{n_{TT}}$		Закорочен ТТ фазы А
Включение ТТ на разность токов двух фаз		$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_{ac} = I_a + I_c = \frac{2I_1}{n_{TT}}$		Правильное соединение ТТ на геометрическую разность токов двух фаз

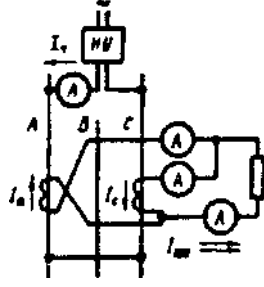
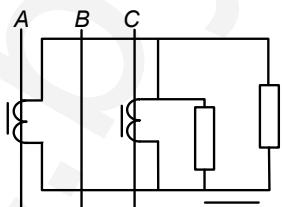
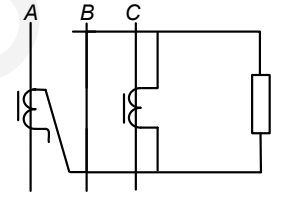
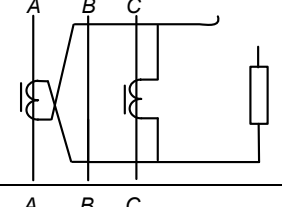
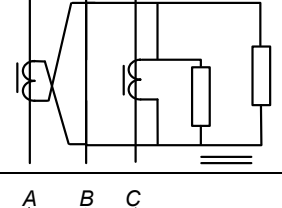
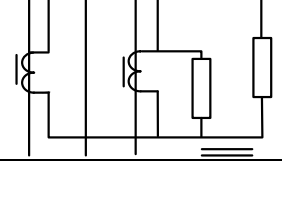
Схема соединений ТТ	Схема измерений	Результаты измерений	Действительная схема	Заключение по результатам измерений
		$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{ТТ}}$ $I_{ac} = 0$		Изменена полярность одного ТТ
		$I_a = 0$ $I_{ac} = I_c = \frac{I_1}{n_{ТТ}}$		Обрыв цепи ТТ фазы А
		$I_a = I_c \approx 0$ $I_{ac} = 0$		Обрыв цепи реле
		$I_a \geq 0$ $I_c = \frac{I_1}{n_{ТТ}}$ $I_{ac} \geq \frac{I_1}{n_{ТТ}}$		Закорочен ТТ фазы А
Включение двух ТТ в неполную звезду		$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{ТТ}}$ $I_0 = I_a + I_c = \frac{2I_1}{n_{ТТ}}$		Правильное соединение в неполную звезду

Схема соединений ТТ	Схема измерений	Результаты измерений	Действительная схема	Заключение по результатам измерений
		$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_0 = 0$		Изменение полярности одного ТТ
		$I_a = I_c = I_0 = 0$		Обрыв обратного провода
		$I_a = 0$ $I_c = I_0 = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Обрыв ТТ фазы А
		$I_a \geq 0$ $I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_0 \geq I_c$		Закорочен ТТ фазы А
Соединение трех ТТ в треугольник		$I_a = I_c = \frac{I_b}{2} = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Правильно собрана схема треугольника

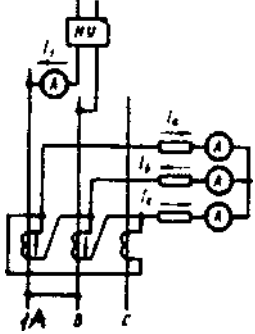
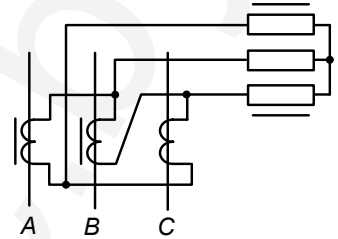
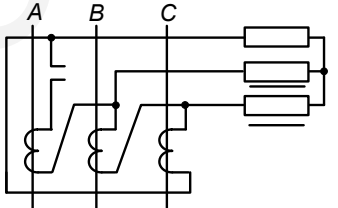
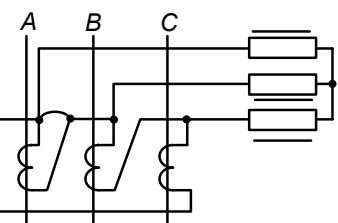
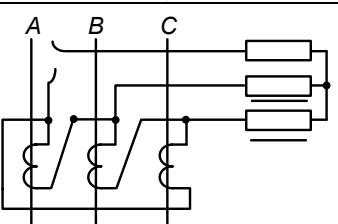
Схема соединений ТТ	Схема измерений	Результаты измерений	Действительная схема	Заключение по результатам измерений
		$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_b = 0$		Изменена полярность ТТ фазы А
		$I_a = 0$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Обрыв цепи ТТ фазы А
		$I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_b = I_a = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Закорочен ТТ фазы А
		$I_a = 0$ $I_b = I_c = \frac{2I_1}{n_{TT}}$		Обрыв цепи треугольника в фазе А

Таблица 4 – Проверка схемы соединений ТТ током первичной нагрузки

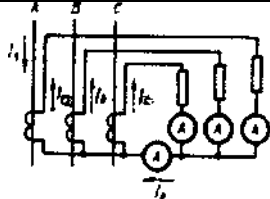
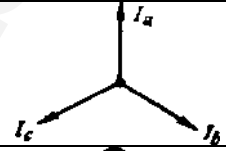
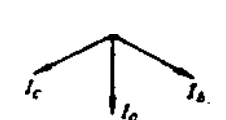
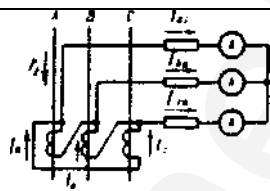
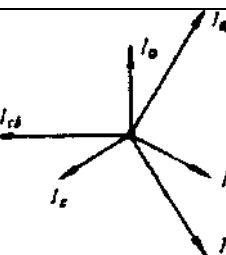
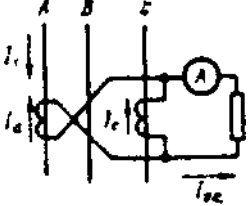
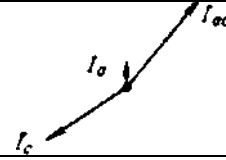
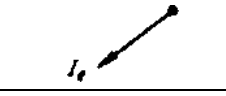
Схема соединений ТТ	Схема измерений	Результаты измерений	Векторная диаграмма вторичных токов	Заключение по результатам Измерений
Соединение трех ТТ в звезду		$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_0 \approx 0$		Правильное соединение в звезду
		$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_0 = 2 \frac{I_1}{n_{TT}}$		Изменена полярность ТТ фазы А
		$I_a = 0$ $I_b = I_c = I_0 = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Обрыв цепи ТТ фазы А
		$I_a > 0 < \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_b = I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_0 > 0 < \frac{I_1}{n_{TT}}$		Закорочен ТТ фазы А
Соединение трех ТТ в треугольник		$I_{ac} = I_{ba} = I_{cb} = \frac{\sqrt{3}I_1}{n_{TT}}$		Правильное соединение в треугольник по первой группе

Схема соединений ТТ	Схема измерений	Результаты измерений	Векторная диаграмма вторичных токов	Заключение по результатам Измерений
		$I_{cb} = \sqrt{3} \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_{ac} = I_{ba} = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Изменена полярность ТТ фазы А
		$I_{cb} = \frac{\sqrt{3}I_1}{n_{TT}}$		Обрыв цепи ТТ фазы А
		$I_{ac} = I_{ba} = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Закорочен ТТ фазы А
Соединение двух ТТ в неполную звезду		$I_a = I_b = I_0 = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Правильное соединение в неполную звезду
		$I_a = I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_0 = \sqrt{3} \frac{I_1}{n_{TT}}$		Изменена полярность ТТ фазы А
		$I_a = 0$ $I_c = I_0 = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Обрыв фазы А
		$I_a < \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_c = \frac{I_1}{n_{TT}}$ $I_0 < \frac{I_1}{n_{TT}}$		Закорочен ТТ фазы А

Схема соединений ТТ	Схема измерений	Результаты измерений	Векторная диаграмма вторичных токов	Заключение по результатам Измерений
		$I_a = I_b = I_0 = 0$	-	Обрыв нулевого провода
Соединение двух ТТ на разность токов двух фаз		$I_{ac} = \sqrt{3} \frac{I_1}{n_{TT}}$		Правильное соединение на разность токов фаз А и С
		$I_{ac} = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Изменена полярность ТТ фазы А
		$I_{ac} > \frac{I_1}{n_{TT}} < \frac{\sqrt{3}I_1}{n_{TT}}$ $I_{ac} \approx 0$		Закорочен один ТТ фазы
		$I_{ac} = \frac{I_1}{n_{TT}}$		Обрыв ТТ фазы А
		$I_{ac} = 0$	-	Обрыв цепи реле

6.12.2 Проверка правильности сборки вторичных цепей напряжением

В полностью собранной схеме вторичных цепей снимаются заземления и размыкается нулевая точка звезды, собранной после обмоток реле. В освободившиеся цепи подается трехфазное регулируемое (или нерегулируемое, что менее удобно) напряжение, меньшее, чем напряжение насыщения магнитопроводов (проверяется по ранее снятой ВАХ). На первичной обмотке каждого ТТ фазовым вольтметром действующего значения измеряется напряжение и снимается векторная диаграмма относительно напряжения, поданного на вторичные обмотки (рисунок 12). По результатам измерений оценивается правильность сборки схем.

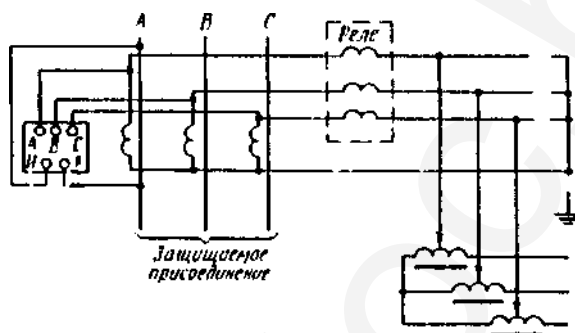


Рисунок 12 – Схема проверки правильности сборки вторичных цепей ТТ измерением напряжений

При снятии векторных диаграмм к зажимам «*» фазового вольтметра следует всегда подключать выводы первичных обмоток ТТ, одинаково ориентированные относительно сборных шин, например обращенные в сторону защищаемого присоединения – трансформатора, линии.

При применении этого способа необходимо заранее по принципиальной схеме составить программу испытаний, определить ожидаемые значения напряжений и их векторные диаграммы и затем опытным путем проверить схему, пользуясь этими данными.

6.12.3 Проверка правильности сборки вторичных цепей импульсами постоянного тока

Проверка схемы соединения вторичных цепей импульсами постоянного тока является развитием изложенного выше метода определения однополярных выводов обмоток ТТ. При полностью собранной схеме вторичных соединений в первичную обмотку каждого ТТ поочередно в определенном порядке кратковременно подается ток от источника постоянного тока. Во вторичные цепи включаются магнитоэлектрические приборы с известной полярностью. По углу и знаку отклонения приборов определяется правильность соединений.

На рисунке 13 а приведена основная схема проверки этим методом; стрелками указаны направления токов при кратковременной подаче тока в первичную цепь. Знаками плюс и минус обозначены выходы измерительных приборов.

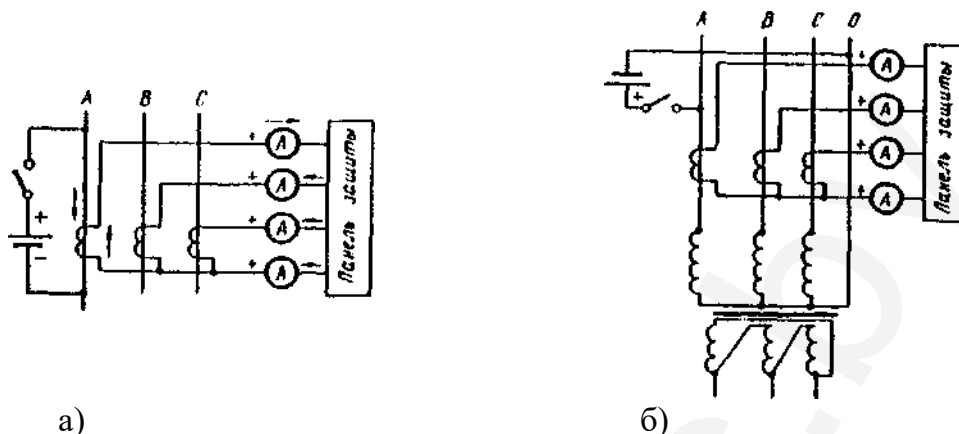


Рисунок 13 – Схема проверки соединений вторичных цепей импульсами постоянного тока для выносных ТТ (а) и ТТ, встроенных в силовые трансформаторы (б)

При проверке схемы соединений необходимо учитывать следующие особенности этого метода.

Знаки отклонений приборов будут различными при замыкании и размыкании первичной цепи. Поэтому необходима надежная связь между лицами, замыкающими первичную цепь и отмечающими показания приборов. Записываются только показания приборов при замыкании первичной цепи.

Полярность источников и измерительных приборов относительно общих точек трехфазной сети должна быть одинакова во всех фазах. Измерения должны проводиться во всех фазах трехфазной сети.

Перед проверкой рекомендуется вычертить схему испытуемой цепи, задаться полярностью включения источника питания, нанести на схеме направления вторичных токов и знаки отклонения стрелки прибора.

Этот метод рекомендуется для предварительной проверки схемы вторичных соединений ТТ, встроенных в силовые трансформаторы; для них он часто является единственным методом предварительной проверки перед проверкой первичным током нагрузки или током искусственного КЗ. Проверка ведется по схеме, приведенной на рисунке 13 б.

6.13 Экспериментальная проверка погрешностей ТТ

Экспериментальная проверка погрешностей ТТ выполняется только первичным током, так как она должна в полной мере учитывать влияние несимметрии первичной обмотки на точность работы ТТ.

При проверке магнитопроводов класса точности 0,2 и 0,5, используемых для учета электроэнергии, должны использоваться специальные комплекты с ЭТТ очень высокой точности и с мостовыми устройствами сравнения.

Для устранения высших гармоник устройство следует питать от сети 380 В. Работать следует в кратковременном режиме с записью на пишущее аналоговое или цифровое устройство.

Первичный ток при проверке ТТ на значение погрешности должен быть синусоидальным. Для создания больших токов синусоидальной формы требуется применение специальных схем. На рисунке 15 а приведена схема, позволяющая получить значение первичного тока 2–3 кА. Чтобы получить ток нагрузки более синусоидальным по форме можно рекомендовать вместо активного сопротивления применять индуктивное.

Очень большие значения токов (10–15 кА) могут быть получены при прямом включении без регулирующих сопротивлений испытательной схемы на выводы фаз трансформатора СН (см. рисунок 15 б и 15 в).

Поскольку схема проверки на погрешность не дифференциальная, наличие равенства коэффициентов трансформации ИТТ и ЭТТ не обязательно.

При недопустимости длительной подачи нужного тока на испытуемый ТТ ИТТ амперметр A_1 заменяется пишущим осциллографом (аналоговым или цифровым) и испытания проводятся в течение времени записи осциллографа. При этом масштаб осциллограмм или программа цифрового осциллографа должны позволять проведение гармонического анализа состава I_2 .

В схемах, приведенных на рисунке 14, ЭТТ должен иметь класс точности не более единицы. Кратность тока для ЭТТ не должна превышать 1,5. Первичный ток должен быть синусоидальным. Для контроля формы его кривой в схемах, показанных на рисунке 14, во вторичную цепь ЭТТ может быть включен электронный осциллограф или анализатор гармоник. Сопротивление $r_{осц}$ порядка 0,3–0,5 Ом.

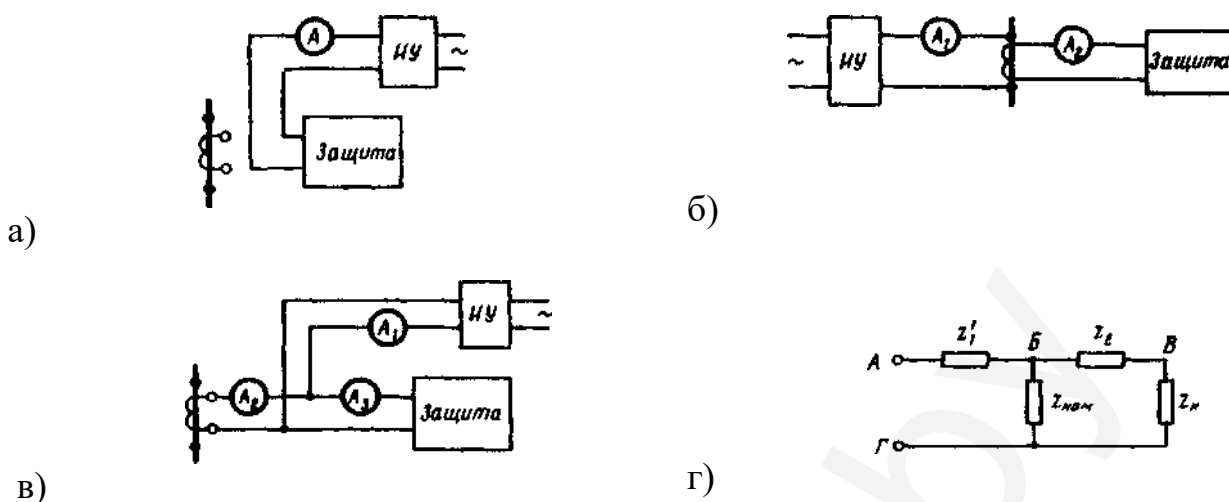
Так как первичный ток синусоидален, амперметр A_1 во всех случаях может быть электромагнитным или электродинамическим, т.е. реагирующим на действующее значение. Амперметр A_2 должен быть разным в зависимости от цели испытаний или от наличия приборов:

- электромагнитным или электродинамическим при проверке токовой погрешности по действующему значению;
- реагирующим на среднее абсолютное значение при проверке по среднему абсолютному значению;
- амплитудным при проверке по амплитудному значению;
- фильтровым при проверке по точности первой гармоники.

Перед проверкой возможности возникновения вибраций реле при заданном значении первичного тока сначала производится проверка при этом первичном токе по схеме, приведенной на рисунке 14 а, а затем приборы и сопротивление r_n исключаются из схемы, присоединяется токовое реле – действительная нагрузка (см. рисунок 14 б) и производится проверка на вибрацию.

6.14 Учет погрешности ТТ при настройке уставок защиты

При больших погрешностях ТТ для большей точности работы защит возможна настройка заданных уставок с учетом действительных погрешностей ТТ (рисунок 16).



а – без учета погрешностей; б – с точным учетом погрешностей; в – с приближенным учетом погрешностей; г – схема замещения

Рисунок 16 – Вариант учета погрешностей ТТ

На рисунке 16 а защита полностью отключена от ТТ и настраивается от постороннего источника тока с помощью испытательного устройства без учета погрешностей ТТ. Такой метод применим для мощных ТТ и защит с малым потреблением и применяется в большинстве случаев.

На рисунке 16 б защита настраивается первичным током по амперметру в первичной цепи ТТ. В этой схеме полностью учитывается погрешность ТТ. При необходимости токовую погрешность можно определить экспериментально, но недостатком этого способа является необходимость применения аппаратуры на большие токи (сотни и тысячи ампер).

На рисунке 16 в дана рекомендуемая схема проверки, а на рисунке 16 г – схема замещения ТТ, подтверждающая возможность и целесообразность применения схемы рисунка 16 в.

При проверке первичным током питание подается как бы в точки А и Г схемы замещения. Если бы при проверке по схеме рисунка 16 в была возможность подачи тока в точки Б и Г, то такая схема проверки учитывала бы погрешности ТТ и не отличалась от проверки первичным током. Но такой точки нет в действительности. Ток подается в точки В и Г. Реально z_2 не равно, но близко к нулю, и схема учитывает погрешности ТТ приблизительно. Настройку следует вести по амперметру А. Схему рисунка 16 в следует применять для настройки защит с большим сопротивлением z_H , например схем с дешунтированием катушки отключения, схемы с вторичными реле прямого действия при малых z_2 (равномерно распределенная вторичная обмотка на тороидальном магнитопроводе ТТ).

6.15 Оформление результатов проверок

Результаты проверки ТТ заносятся в паспорт-протокол. Рекомендуемая форма паспорта-протокола ТТ приведена в приложении А.

7 Трансформаторы напряжения (ТН)

7.1 Объем и виды проверок ТН

7.1.1 При новом включении ТН и их вторичные цепи проверяются в следующем объеме и последовательности:

- а) подготовительные работы;
- б) внешний осмотр ТН;
- в) определение однополярных выводов ТН;
- г) определение сопротивления короткого замыкания ТН;
- д) проверка маркировки и правильности сборки схемы вторичных цепей;
- е) проверка правильности монтажа схемы переключения цепей с одного ТН на другой;
- ж) измерение сопротивления изоляции;
- з) испытание электрической прочности изоляции;
- и) измерение сопротивления вторичных цепей;
- к) проверочные расчеты токов КЗ и защиты во вторичных цепях;
- л) проверка автоматических выключателей, предохранителей и аппаратуры контроля цепей;
- м) проверка под напряжением;
- н) фазировка ТН;
- о) проверка правильности схемы переключения цепей с одного ТН на другой и правильности маркировки на входных выводах панелей;
- п) измерение нагрузки и потерь напряжения во вторичных цепях;
- р) проведение опыта КЗ во вторичных цепях ТН;
- с) проверка отстройки автоматических выключателей от зарядного тока линии и пусковых токов нагрузки;
- т) оформление результатов проверки.

7.1.2 Для аппаратуры и цепей, находящихся в особо тяжелых условиях (высокая температура, влажность, вибрация, запыленность и т.п.) в программы проверок могут добавляться проверки или увеличиваться объемы восстановления, позволяющие оценить влияние этих тяжелых условий на аппаратуру и цепи, предотвратить их повреждение, повысить надежность работы. Объем этих проверок и восстановлении устанавливается по местным условиям.

7.1.3 Регулировка блок-контактов и проверка цепей от блок-контактов до выводов панелей устройств или реле-повторителей, цепей от реле-повторителей или шинок щита управления до панелей устройств в зависимости от местных условий могут выполняться одновременно с проверкой ТН или с проверкой питающихся по этим цепям устройств защиты и автоматики.

7.1.4 Подготовительные работы включают подготовку необходимой документации (принципиальных и монтажных схем включения вторичных цепей ТН, данных о значениях токов КЗ, уставок защит, обслуживаемых данным ТН, и т.д.) и испытательной аппаратуры, измерительных приборов и инструментов.

7.2 Внешний осмотр ТН

7.2.1 При внешнем осмотре должны быть проверены: исправность оборудования, правильность и качество монтажа, выполнение ТНПА, соответствие выполненного монтажа проекту.

Все отступления от проекта, допустимые в соответствии с требованиями ТНПА, должны быть согласованы с СРЗАИ, утверждавшей проект.

7.2.2 При осмотре ТН должны быть записаны, с последующим занесением в бланк паспорта-протокола все технические данные изготовителя ТН. Обязательно проверяется наличие обозначений изготовителя, исправность выводов вторичных обмоток, надежность уплотнения коробок и сальников.

7.2.3 Должна быть проверена правильность подключения ТН со стороны питания.

Выводы первичной обмотки однофазных ТН, соединенные в звезду, должны соединяться с контуром заземления отдельным проводником. Бак ТН, сердечник, подставка и прочие заземляемые детали, изолированные от обмоток, должны соединяться с контуром заземления отдельным проводником.

У трехфазных ТН вывод нуля первичной обмотки и бак должны соединяться с контуром заземлений отдельными проводниками. У трехфазных ТН, не имеющих вывода нуля первичной обмотки, нуль вторичной обмотки, хотя и выведен, обычно не используется. Во избежание случайных КЗ рекомендуется закрыть этот вывод колпачком или крышкой из изоляционного материала.

Если однофазные ТН с соединенной в звезду первичной обмоткой с одинаковой изоляцией выводов *A* и *X* ошибочно подключены к шинам выводом *X* вместо *A* и исправить эту ошибку невозможно, то следует соответственно изменить маркировку вторичных цепей, отметив это в паспорте-протоколе. Аналогично исправляются такие же ошибки при соединении ТН в открытый треугольник.

7.2.4 При внешнем осмотре должно быть обращено особое внимание на способы и детали подключения кабелей больших сечений к выводам вторичных обмоток ТН, к выводам автоматических выключателей, предохранителей и прочей аппаратуры. При внешнем осмотре следует особо проверять качество изготовления и надежность специальных наконечников или переходных деталей для подключения жил кабелей. Основные требования к ним следующие: малое переходное сопротивление контактных поверхностей, надежность контакта, защита контактных поверхностей от окисления, а для алюминиевых деталей – невозможность ухудшения контакта из-за вытекания алюминия, удобство сборки и разборки соединения, устойчивость к изменениям температуры и влажности, к вибрациям, в том числе и к постоянным.

7.2.5 Необходимо проверить соответствие сечения проложенных кабелей проектным и выверить кабельный журнал. Увеличение сопротивления цепей за счет уменьшения сечения недопустимо.

Допустимо в виде исключения уменьшение сечения небольших отрезков кабелей, например от ТН до его шкафа, с обязательной компенсацией увеличения сопротивления, вызванного уменьшением сечения. Для этого можно увеличить сечения других участков цепи, заменять алюминий медью, изменять трассу кабеля

для уменьшения его длины и т.п. Такие отступления от проекта должны быть подтверждены расчетами и согласованы с СРЗАИ, утверждавшей проект.

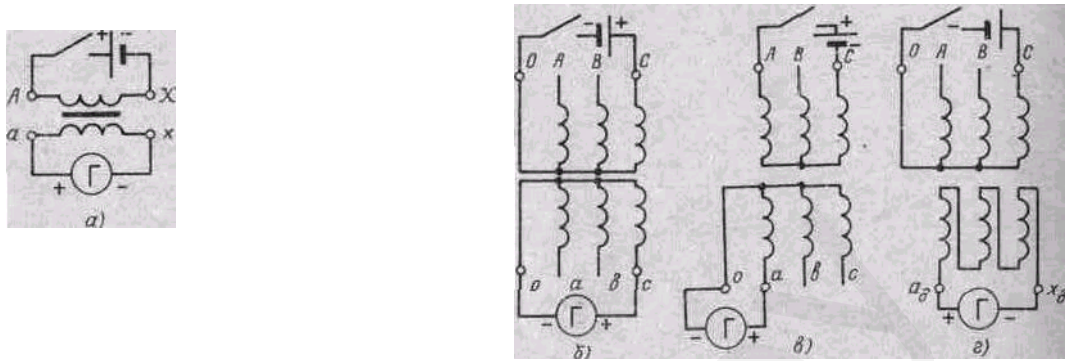
7.2.6 Должны быть тщательно проверены правильность и качество монтажа кабельных разделок, состояние кабелей в лотках и каналах, надежность защиты кабелей от механических повреждений, состояние шкафов и ящиков в соответствии с СТП 09110.35.302.

7.2.7 Должны быть также проверены:

- выполнение требований по прокладке кабелей, распределении выводов ТН по жилам кабелей, заземлению металлических оболочек;
- выполнение требований о заземлении вторичных обмоток ТН, правильность и качество монтажа заземлений;
- правильность и качество монтажа рубильников и аппаратуры защиты от КЗ;
- правильность и качество монтажа аппаратуры сигнализации о повреждении цепей ТН, шин на щите;
- состояние и правильность монтажа резисторов в схеме разомкнутого треугольника;
- правильность схемы и качество монтажа, переключения цепей на резервный ТН;
- правильность схемы, качество монтажа и выполнение требований о переключениях цепей напряжения;
- наличие и правильность различных надписей и обозначений. Названия и обозначения аппаратов и их положений должно точно совпадать с обозначениями и названиями их в ЛПА по обслуживанию ТН и их вторичных цепей;
- тщательность очистки всех шкафов, ящиков, корпусов аппаратов, замена поврежденных деталей, особенно винтов и гаек с поврежденной резьбой, восстановление поврежденной изоляции и окраска, исправления надписей и маркировки.

7.3 Определение однополярных выводов ТН

7.3.1 Определение однополярных выводов должно обязательно производиться у ТН, у которых нарушены установленные изготовителем обозначения выводов, у ТН, подвергавшихся ремонту с отсоединением обмоток и в других подобных случаях. У исправных ТН с четкими обозначениями изготовителя определение однополярных выводов необязательно. Схемы определения однополярных выводов приведены на рисунке 17.



а – однофазных ТН; б – трехфазных ТН, соединенных по схеме Y_n/Y_n ; в – трехфазных ТН, соединенных по схеме Y_n/Δ ; г – трехфазных ТН, соединенных по схеме Y_n/Δ

Рисунок 17 – Схемы определения однополярных выводов ТН

Гальванометром Г может служить любой измерительный прибор постоянного тока с обозначением полярности зажимов и требуемой чувствительностью, например гальванометр, миллиамперметр, милливольтметр. Для удобства работы желательно иметь нуль у прибора посередине шкалы. При измерениях прибором с нулем в начале шкалы следует учитывать его особенность: при отклонении стрелки прибора влево она может удариться в левый ограничитель и отклониться вправо. Для устранения этого можно корректором немного сдвинуть стрелку прибора вправо от нуля, а после окончания работ вернуть ее на нуль.

7.3.2 У однофазных ТН определения однополярных выводов рекомендуется производить по схеме, приведенной на рисунке 17 а. Вывод (+) батареи подключается к выводу А ТН, прибор подключается к вторичной обмотке произвольно. Подбирается включение прибора, при котором стрелка отклоняется вправо при замыкании цепи батареи и влево при размыкании. Вывод вторичной обмотки ТН, к которому подключен (+) прибора, будет иметь одинаковую полярность с выводом первичной обмотки, к которому подключен (+) батареи.

Следует сравнивать расположение выводов проверяемого ТН с расположением обозначенных выводов однотипного исправного ТН или с документацией изготовителя.

7.3.3 Проверку трехфазных ТН с соединением обмоток Y_n/Y_n рекомендуется выполнять по схеме, приведенной на рисунке 17б. Выводы (–) батареи и прибора подключаются к нулям обмоток, (+) гальванометра и (+) батареи – поочередно к фазным выводам обмоток. При замыкании цепи батареи стрелка прибора отклоняется вправо при подключении его к выводу вторичной обмотки, однополярному с выводом первичной обмотки, к которому подключен (+) батареи. При подключении (+) прибора к другим выводам вторичной обмотки и замыкании цепи батареи стрелка отклоняется влево. Определить выводы нулей обмоток можно по размерам их изоляторов, измерением сопротивления обмоток между каждой парой выводов, по документации изготовителя, сравнением расположения выводов проверяемого ТН с однотипным исправным ТН.

7.3.4 Проверку трехфазных ТН с соединением обмоток Y/Δ рекомендуется

производить по схеме, приведенной на рисунке 17 в. Гальванометр подключается следующим образом: (–) – к нулю вторичной обмотки, (+) – поочередно к другим выводам. Батарея поочередно включается на выводы *AB*, *BC*, *CA*, (+) батареи должен включаться на выводы *A*, *B*, *C* соответственно.

При правильной полярности и включении прибора на вывод *a* его стрелка отклонится вправо, при включении на вывод *c* – влево, при включении на вывод *b* – незначительно в любую сторону. Измерения повторяются три раза, для каждой пары выводов первичной обмотки.

7.3.5 Определение выводов обмоток, соединенных в разомкнутый треугольник, рекомендуется производить по схеме, приведенной на рисунке 17 г: (+) батареи поочередно подключается к выводам *A*, *B*, *C*; при правильной полярности стрелка прибора отклоняется вправо; (+) прибора соответствует выводу *a₀*.

7.3.6 После окончания измерений по их результатам должны быть нанесены обозначения выводов маслостойкой и водоупорной краской. Результаты испытаний должны быть записаны в паспорт-протокол.

7.3.7 Если обозначения выводов ТН изготовителя отличаются от принятых в ГОСТ 1983, то они сохраняются, а рядом наносятся обозначения по ГОСТ 1983.

7.4 Определение сопротивления КЗ ТН

7.4.1 Сопротивление КЗ ТН необходимо знать для расчета токов КЗ и защиты от них во вторичных цепях ТН.

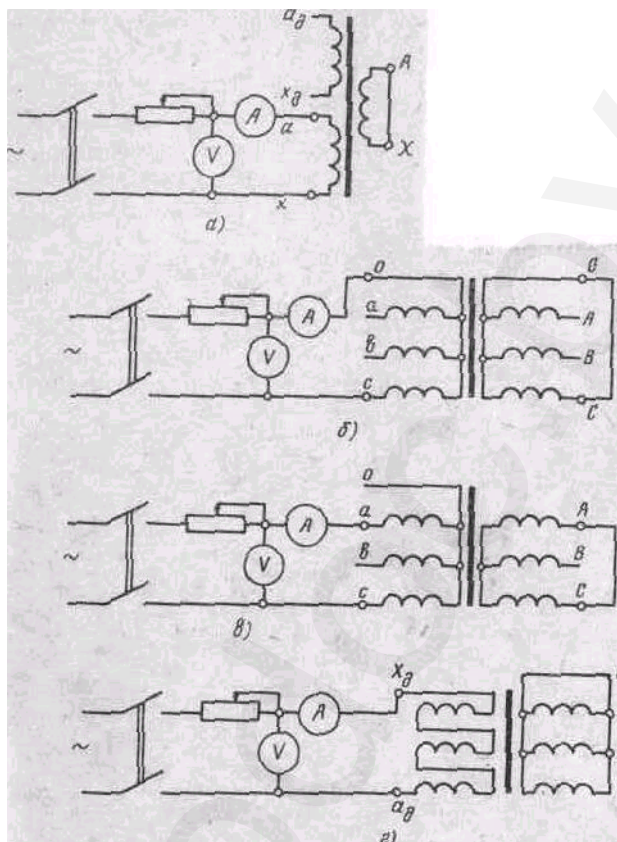
Это испытание обязательно для всех ТН, вторичные обмотки которых соединены в разомкнутый треугольник, и ТН, для которых нет данных изготовителя. Для ТН, обмотки которых соединены в звезду или открытый треугольник, это испытание целесообразно для уточнения данных изготовителя.

7.4.2 Определять сопротивление КЗ ТН рекомендуется по схемам, приведенным на рисунке 18.

Первичные обмотки ТН надежно закорачиваются, ток во вторичной обмотке доводится до максимально возможного, но не более номинального тока, соответствующего максимальной мощности ТН. Регулировка тока производится реостатом. Искажения формы кривой тока и напряжения не будет, так как сопротивление закороченного ТН линейно. Поэтому измерения могут выполняться приборами любого типа. Сопротивление однофазных ТН (Ом/фазу) определяется по рисунку 18а как напряжение (В), деленное на ток (А). Для составления полной схемы замещения трехобмоточного трансформатора необходимо измерять сопротивления всех трех пар обмоток; обычно достаточно измерить сопротивления КЗ только для основной и дополнительной обмоток при закороченной первичной. Измерения сопротивления между двумя вторичными обмотками при разомкнутой первичной обычно необязательно и требует особо строгого соблюдения требований правил техники безопасности.

7.4.3 Для трехфазных ТН, имевших нулевые выводы обмоток, соединенных в звезду, измерения рекомендуется выполнять по схеме, приведенной на рисунке 18б, поочередно для каждой фазы. В паспорт-протокол записываются результаты всех трех измерений, для расчета тока КЗ принимается среднее значение.

Трехфазные ТН с обмотками, соединенными по схеме U/U_n рекомендуется проверять по схеме, приведенной на рисунке 18 в. Сопротивление одной фазы получается при делении результата измерения на два.



а – однофазных ТН; б – трехфазных ТН, соединенных по схеме U_n/U_n ; в – трехфазных ТН, соединенных по схеме U_n/Δ ; г – трехфазных ТН, соединенных по схеме U/U_n

Рисунок 18 – Схемы определения сопротивления ТН:

7.4.4 Для трехфазных ТН, имеющих вторичную обмотку, соединенную в разомкнутый треугольник, измерения рекомендуется выполнять по схеме, приведенной на рисунке 18 г; чтобы получить сопротивление одной фазы, результат делится на три.

7.4.5 При испытании необходимо следует следить за надежностью закороток первичных обмоток; при случайном размыкании их на первичной обмотке могут появиться напряжения, опасные как для персонала, так и для ТН. При испытаниях трехобмоточных ТН третья обмотка должна быть разомкнута. Значение тока следует доводить до номинального тока ТН во вторичной обмотке, определяемого для максимальной мощности, без учета класса точности. Измерительные приборы должны иметь класс точности 0,2, допустим класс точности 0,5 при условии правильного подбора пределов измерения и соблюдения правил измерений.

7.5 Проверка маркировки и правильности сборки схемы вторичных цепей

Для уменьшения числа отключений жил кабелей рекомендуется следующий

порядок работ: после внешнего осмотра отключаются кабели от выводов вторичных обмоток ТН и проводятся испытания ТН – определение однополярных выводов (при необходимости) в сопротивления КЗ ТН. Затем снимаются заземления и, не подключая кабели к ТН, производится проверка схемы и маркировки вторичных цепей, измерение сопротивления изоляции, испытание электрической прочности изоляции, определение сопротивления вторичных цепей, проверка автоматических выключателей и вспомогательной аппаратуры. После этого подключаются кабели к ТН и полностью восстанавливается разобранная схема вторичных цепей по заранее проверенной маркировке.

Выполненная маркировка должна полностью совпадать с маркировкой на монтажных и принципиальных схемах. При необходимости в зависимости от местных условий вносятся исправления в схемы или в выполненную маркировку.

Особое внимание следует обратить на маркировку кабелей с жилами большого сечения и различных шин, для которых обычно применяемые для вторичных цепей бирки непригодны. В зависимости от местных условий маркировка наносится устойчивой краской непосредственно на изоляцию жилы или на шину или же на пластинки из токонепроводящих водостойких материалов (текстолита, гетинакса, оргстекла и т.п.), привязываемые к жилам и шинам. Цвет краски, которой наносится маркировка, должен отличаться от цвета шин и изоляции жил. Маркировка должна быть хорошо различимой на расстоянии без дополнительного освещения от переносных источников. Привязывать маркировку проволокой запрещается.

Одновременно с проверкой маркировки жил должна проверяться и сверяться с кабельным журналом маркировка кабелей.

Все недостающие и поврежденные винты, гайки, шайбы заменяются, а бирки с неясными надписями восстанавливаются или заменяются.

Проверка маркировки производится по всем цепям от выводов вторичных обмоток ТН до зажимов выводов панелей релейной защиты, автоматики, измерительных приборов, реле повторителей или шинок на щите.

7.6 Проверка правильности монтажа схемы переключения цепей с одного ТН на другой

7.6.1 При проверке правильности монтажа схемы переключений должны проверяться выполнение качество монтажа, состояние аппаратуры, правильность выполнения схемы.

Основное требование к схеме: при всех предусмотренных положениях переключающего аппарата (переключатель с ручным управлением, блок-контакты разъединителей, реле-повторители) на зажимы выводов устройства, цепи которого переключаются, подаются одноименные фазы от разных ТН. Это должно проверяться предварительно «прозвонкой» цепей и в дальнейшем измерениями под рабочим напряжением.

7.6.2 Основное внимание следует обратить на качество монтажа кабелей, проложенных к блок-контактам, надежность работы блок-контактов и защиту их от пыли, снега и дождя.

7.6.3 Надежность работы блок-контактов должна проверяться

многократным включением и отключением разъединителя. Тяги между валом блок-контактов и валом разъединителя должны регулироваться так, чтобы при отключении разъединителя блок-контакты размыкались, как только ножи разъединителя выйдут из губок. При включении разъединителя блок-контакты должны замыкаться, когда нож подходит к губкам, но еще не касается их. Дополнительно проверяется, что ход ножа в губках обеспечивает достаточный запас по углу поворота вала блок-контактов на замыкание с учетом возможных отклонений от отрегулированного положения.

7.6.4 Все поврежденные детали блок-контактов, особенно ржавые пружины, должны быть заменены. Контактные поверхности должны очищаться надфилем, чистить их шкуркой запрещается. Жилы кабеля не должны касаться движущихся деталей блок-контактов и корпуса. Ввод кабелей в корпус блок-контактов, крышка корпуса и место входа тяги в корпус должны иметь надежные уплотнения, защищающие блок-контакты от дождя, снега, и пыли.

7.7 Измерение сопротивления изоляции

7.7.1 В соответствии с СТП 33243.20.366 измерение сопротивления изоляции проводится мегаомметром на напряжение 1000 В – для вторичных обмоток и связующих обмоток каскадных ТН; на напряжение 2500 В – для обмоток высокого напряжения. Сопротивление изоляции относительно земли должно быть не менее 1 МОм для полной схемы вторичных цепей каждого ТН. Обмотки ТН при этом должны быть подключены к вторичным цепям (подключение производить временно).

Сопротивление изоляции относительно земли должно определяться для полностью собранной схемы с подключенными обмотками ТН, со всеми включенными реле и приборами, при всех положениях аппаратов, переключающих цепи напряжения с одного ТН на другой.

Сопротивление изоляции между фазами (жилами) должно измеряться при отключенных обмотках реле и приборов.

7.7.2 Целесообразно присоединять мегаомметр между землей и жилой кабеля; остальные жилы соединить между собой и заземлить.

Таким образом одновременно проверяется изоляция каждой жилы относительно земли и других жил.

7.8 Испытание электрической прочности изоляции

7.8.1 Испытание должно проводиться в соответствии с СТП 33243.20.366. При испытаниях необходимо учитывать некоторые особенности вторичных цепей ТН, а именно:

а) вторичные обмотки ТН напряжением 1000 В не испытываются и на время испытания отключаются от вторичных цепей;

б) у реле и измерительных приборов, у которых обмотки тока и напряжения расположены на одном каркасе, токовые обмотки отключаются от своих цепей и соединяются временно с обмотками напряжения;

в) кабели, проложенные от ТН до щита управления рекомендуется испытывать напряжением 1000 В не только между жилой и землей, но и между жилами. Для

кабелей, проложенных от ТН до аппаратов защиты вторичных цепей от КЗ, такое испытание обязательно, так как они не защищены от КЗ.

7.8.2 При таких испытаниях напряжение следует подавать поочередно на каждую жилу, остальные жилы соединять между собой и заземлять.

На время указанных испытаний кабели должны быть отключены от шин щита или панелей устройств защиты и автоматики. После испытания схема должна быть полностью восстановлена, и должно быть, повторно проверено сопротивление изоляции полностью собранной схемы относительно земли.

7.8.3 При восстановлении и контроле напряжением 1000 В должны испытываться только замененные или отремонтированные кабели и аппараты, для остальных допускается вместо испытания электрической прочности изоляции измерение ее сопротивления мегаомметром на напряжение 2500 В.

7.9 Измерение сопротивления вторичных цепей

Перед измерениями необходимо отключить заземляющие провода от вторичных цепей и восстановить заземления после окончания измерений. Измерения следует производить методом амперметра и вольтметра на переменном токе (рисунок 19). Место установки закоротки выбирается по местным условиям. Все вторичные цепи целесообразно разбить на несколько участков и измерять сопротивления по участкам, например от ТН до шинок щита управления, от шинок до панелей и т.д.

Основное требование следующее: в измеряемую цепь должны входить все составные элементы схемы: переходные сопротивления контактов, кабели, расцепители выключателей, предохранители, шинки, рубильники, блок-контакты.

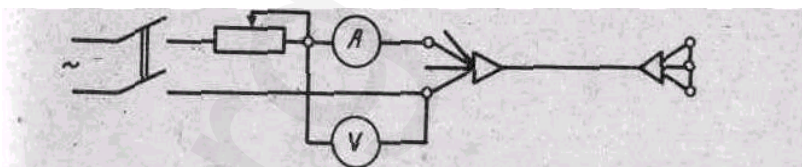


Рисунок 19 – Схема измерения сопротивления вторичных цепей ТН

7.9.1 Для цепей обмоток, соединенных в звезду, следует измерять сопротивления каждой пары фаз и каждой фазы и нулевого провода. По этим данным вычисляется среднее значение сопротивления каждой фазы и нуля. Для цепей разомкнутого треугольника следует измерять попарно сопротивления между жилами *НИ*, *ФК*, *НК*, *ИФ* и вычислять среднее сопротивление каждой жилы. Следует учитывать, что часто применяются четырехжильные кабели с разным сечением жил.

Класс точности приборов должен быть не ниже 0,5 (желательно 0,2).

7.10 Проверочные расчеты токов КЗ и защиты во вторичных цепях

Проверочные расчеты рекомендуется производить по результатам измерений сопротивлений вторичных цепей и ТН. По ним должна проверяться чувствительность

защиты вторичных цепей и соответствие установленной аппаратуры действительным значениям токов КЗ. При необходимости установленная аппаратура защиты (предохранители, автоматические выключатели) должна быть заменена или дополнена новой.

7.11 Проверка автоматических выключателей, предохранителей и аппаратуры контроля цепей

7.11.1 Проверка тепловых расцепителей должна производиться поочередно для каждого полюса (рисунок 20). Измерения повторяются многократно, поэтому необходимо давать время для остывания теплового расцепителя – около 2 мин, для чего в схему введен переключатель П: пока остывает тепловой расцепитель одного полюса, проверяются другие. Время срабатывания теплового расцепителя измеряется электросекундомером.

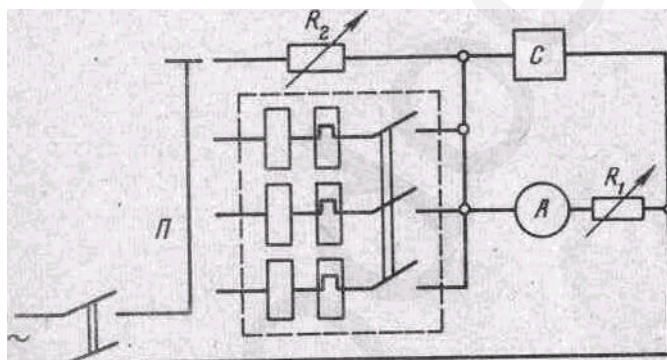


Рисунок 20 – Схема проверки автоматических выключателей

Ток регулируется реостатом R_1 . Реостат R_2 заменяет тепловой расцепитель на время подбора требуемого тока, чтобы не перегреть расцепитель. Сопротивление R_2 подбирается равным сопротивлению расцепителей в зависимости от их номинального тока и должно быть следующим:

Номинальный ток расцепителя, А	1,6	2,5	4	6,4	10	16	25	40	50
Сопротивление, Ом	0,65	0,32	0,13	0,05	0,02		0,012	0,007	0,003

Для всех автоматических выключателей с тепловыми расцепителями следует измерять время работы с обязательным учетом разброса, при трех- и шестикратном номинальном токе расцепителей. Измеряемое время срабатывания при шестикратном токе следует сравнивать с данными изготовителя для оценки исправности расцепителя. По времени, измеренному при трехкратном токе, оценивается работа защиты при минимальной чувствительности, равной трем.

Для оценки исправности теплового расцепителя результаты измерений времени срабатывания следует сравнивать с характеристиками изготовителя.

7.11.2 Необходимо определять действительный ток срабатывания отсечки и

его разброс от $I_{ном}$. Разброс не должен превосходить гарантированного изготовителем. Проверка ведется так же, как для обычного максимального реле. Если в цепях, защищенных этим выключателем, имеется блокировка релейной защиты от повреждений цепей напряжения, то необходимо миллисекундомером измерить время срабатывания отсечки при токе, равном 1,5 действительного тока срабатывания. Время срабатывания сравнивается с временем срабатывания блокировки. Если блокировки нет, измерение времени срабатывания отсечки необязательно.

7.11.3 При профилактическом контроле и восстановлении при необходимости должны сниматься гасительные камеры, проверяться и при необходимости зачищаться контакты и внутренние стенки камер. Работа теплового расцепителя и отсечки должна проверяться при трехкратном номинальном токе теплового расцепителя и при 1,5-кратном токе срабатывания отсечки.

7.11.4 Цепи сигнализации от блок-контактов должны проверяться в соответствии с СТП 09110.35.302.

7.11.5 Проверка предохранителей производится следующим образом.

В цепях ТН могут применяться только трубчатые предохранители с закрытым патроном; пробочные предохранители и трубчатые с открытым патроном не допускаются. При всех проверках должна проверяться исправность предохранителя, чистота контактных поверхностей, надежность подключения к нему жил кабелей или проводов, исправность пружин. Тип, номинальный ток и напряжение, разрывная мощность предохранителя должны соответствовать проекту или результатам расчетов токов КЗ. У неразборных патронов по обозначениям изготовителя должно проверяться соответствие номинального тока плавкой вставки проекту или проверочному расчету чувствительности. Разборные патроны необходимо разобрать, проверить исправность и номинальный ток плавкой вставки, соответствие ее типа или конструкции типу или конструкции патрона, качество крепления вставки в патроне. Чувствительность предохранителей должна проверяться проверочным расчетом тока КЗ и опытом КЗ при новом включении как для автоматических выключателей. При контроле и восстановлении особое внимание должно обращать на состояние контактных поверхностей и исправность вставок.

Для разборных патронов замена вставок, изменивших свой нормальный цвет из-за нагрева или окисления обязательна.

7.11.6 Проверка приборов контроля исправности цепей осуществляется следующим образом.

Контроль исправности цепей $3U_0$ рекомендуется производить низкоомным вольтметром или миллиамперметром, включаемыми вручную. Проверка при новом включении, контроле и восстановлении сводится к проверке исправности кнопки, добавочного сопротивления и деталей крепления проводов к ним и аппаратов.

Измерительный прибор и добавочное сопротивление должны проверяться в электроизмерительной лаборатории по соответствующим инструкциям.

7.11.7 Проверка пробивных предохранителей выполняется следующим образом.

Пробивные предохранители допускается устанавливать вместо заземления вторичных обмоток ТН только для ТН, являющихся источником оперативного тока. При новом включении и восстановлении пробивной предохранитель обязательно

разбирается, заменяются пробитые или поврежденные слюдяные прокладки, и предохранитель собирается. Толщина прокладок и тип предохранителя должны подбираться так, чтобы предохранитель пробивался примерно при 300–350 В переменного тока. При испытании мегаомметром на номинальное напряжение 250 В предохранитель пробиваться не должен, при испытании мегаомметром на 500 В предохранитель должен четко пробиваться. Выводы от мегаомметра подключаются к выводам предохранителя, ручка мегаомметра должна вращаться с нормальным числом оборотов.

После сборки при новом включении пробивное напряжение должно определяться на переменном токе, на испытательной установке. При новом включении проверка мегаомметром является контрольной и основной при контроле. При восстановлении предохранитель должен проверяться в объеме нового включения.

7.11.8 Проверка правильности сборки схемы сигнализации об обрывах цепей напряжения должна выполняться в соответствии с СТП 09110.35.302, реле должны проверяться по соответствующим инструкциям.

7.11.9 У резисторов, включаемых в цепь $3U_0$, для предотвращения смещения нейтрали и возникновения субгармонических колебаний при всех видах проверок должны проверяться исправность резистора и надежность конструкции и контактов. Реле в схеме включения резистора должны проверяться по соответствующим инструкциям.

7.11.10 Восстановление цепей перед проверкой под напряжением производится следующим образом. После полной сборки всей схемы вторичных цепей должна быть проверена затяжка винтовых креплений, очищена вся аппаратура, должны быть удалены остатки материалов от ремонтных работ, установлены на свое место крышки корпусов, коробок выходных зажимов, проверены уплотнения кабелей крышек, дверей, восстановлены заземления вторичных обмоток.

7.12 Проверка под напряжением

7.12.1 Проверку совпадения маркировки вторичных цепей с обозначениями фаз первичной стороны рекомендуется производить пофазной подачей напряжения на каждую фазу. Если на первичной стороне имеются однополюсные разъединители или предохранители, например в КРУ и КРУН 6–10 кВ, то пофазная подача напряжения выполняется с их помощью. При трехполюсных разъединителях и отсутствии предохранителей (РУ напряжением 35 кВ и выше) пофазная подача напряжения может выполняться только расшиновкой с первичной стороны.

Если расшиновка невозможна, то пофазная подача напряжения заменяется отключением кабелей от выводов вторичных обмоток двух других фаз и подачей на первичные обмотки всех фаз трехфазного напряжения.

В ряде случаев вместо нормального рабочего напряжения эту проверку удобнее выполнить подачей на первичные обмотки напряжения от постороннего источника, например от сети 380 В.

Для ТН генераторов все проверки под рабочим напряжением должны производиться при подъеме их напряжения с нуля.

На вторичной стороне ТН для уменьшения возможности ошибок рекомендуется разбирать нулевую точку звезды и схемы разомкнутого треугольника. Измерения должны производиться на ближайшей к ТН сборке выводов, от которой отключаются все отходящие от нее цепи.

Вольтметром должны быть измерены напряжения на всех кабелях с приходящих от ТН на сборку выводов, по его показаниям определена фаза, находящаяся под напряжением, и сверены между собой ее обозначения на первичной и вторичной сторонах. При необходимости маркировка исправляется.

7.12.2 После проверки маркировки должна быть восстановлена схема соединений вторичных обмоток, нагрузка оставлена отключенной и на ТН подано трехфазное напряжение – нормальное рабочее или от постороннего источника.

Вольтметром должны быть измерены напряжения всех вторичных обмоток ТН, выведенных на сборку или в ящик. При правильном включении вторичных обмоток в звезду с нулем все линейные напряжения равны между собой и в $\sqrt{3}$ раз меньше линейных. При правильном включении в открытый треугольник равны между собой все линейные напряжения. При правильном включении вторичных обмоток в разомкнутый треугольник равны между собой все фазные (они же линейные) напряжения. Напряжение на выводах разомкнутого треугольника должно быть равно нулю, практически же оно обычно составляет несколько вольт.

Фазоуказателем должно быть проверено чередование фаз. Заземленная фаза *в* подключается к выводу *В* или *II* фазоуказателей; к выводам *А (I)* и *С (III)* подключаются соответственно, фазы *а* и *с*; если диск фазоуказателя вращается правильно (по стрелке на диске), то чередование фаз – *А, В, С* в соответствии с обозначениями выводов фазоуказателя.

Наиболее часто встречающиеся ошибки в схемах соединений и способы определения их по показаниям вольтметра показаны на рисунках 21–23.

Следует учитывать, что при неправильной сборке схемы, например разомкнутого треугольника, вольтметр может оказаться под напряжением порядка 200 В. Поэтому все измерения надо начинать на пределе измерения 300 В и лишь при правильно собранной схеме переходить на меньшие пределы измерений.

Значительное напряжение на выводах разомкнутого треугольника при правильной сборке схемы может вызываться следующими причинами:

а) несимметрией первичных фазных напряжений. Определяется по вторичным фазным напряжениям обмоток, включенных по схеме звезды. Необходимо учитывать, что в сетях с изолированной нейтралью несимметрия первичных фазных напряжений за счет неодинаковой емкости относительно земли разных фаз и отсутствия транспозиции может быть очень велика;

б) насыщением стали сердечников ТН. Определяется осциллоскопом по форме кривой напряжения небаланса. Обычно проявляется при первичном напряжении, превышающем номинальное первичное напряжение ТН. При насыщении стали в напряжении небаланса преобладают третьи гармонические составляющие;

в) различными наводками от посторонних магнитных полей. Наводки обычно появляются лишь при значительной нагрузке соседних присоединений. Определяются по осциллоскопу и измерением небаланса двумя вольтметрами: с большим сопротивлением (не менее 1000 Ом на I В шкалы) и малым. Из-за малой

мощности наводок напряжение небаланса от них при измерении вольтметром с большим сопротивлением значительно выше, чем при измерении низкоомным вольтметром. Поэтому измерение напряжения небаланса рекомендуется производить низкоомным вольтметром.

Обычно при подключении нормальной нагрузки небаланс от наводок резко уменьшается. Устранение причин появления небаланса обычно невозможно; определение его производится для учета значения и причины его появления при настройке уставов релейной защиты, например защиты от замыканий на землю в сетях с изолированной централью.

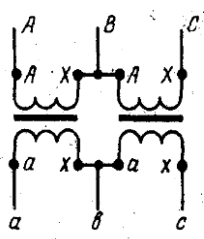
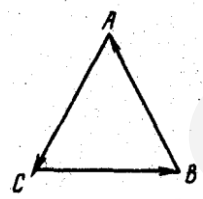
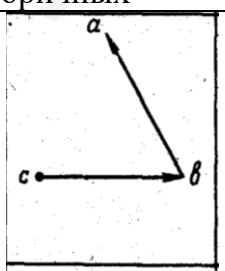
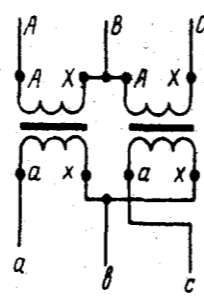
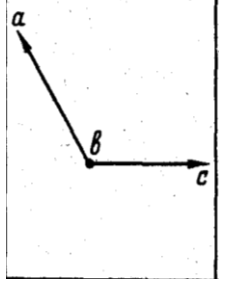
Схема соединений	Результат измерений	Векторная диаграмма напряжений		Заключение
		первичных	вторичных	
	$U_{ab} = U_{bc} = U_{ca} \cong 100 \text{ В}$			Схема собрана правильно
	$U_{ab} = U_{bc} \cong 100 \text{ В}$ $U_{ac} = \sqrt{3}U_{ab} \cong 173 \text{ В}$			Неправильно включена вторичная обмотка фазы BC

Рисунок 21 – Пример проверки правильности сборки схемы вторичных обмоток ТТ в открытый треугольник

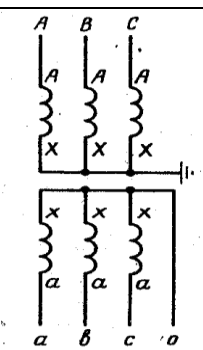
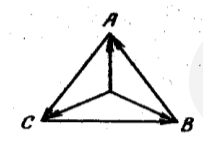
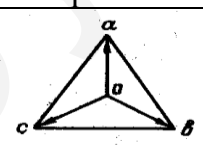
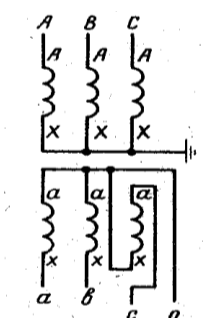
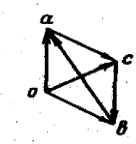
Схема соединений	Результат измерений	Векторная диаграмма напряжений		Заключение
		первичных	вторичных	
	$U_{a0} = U_{b0} = U_{c0} \cong 58 \text{ В}$ $U_{ab} = U_{bc} = U_{c0} \cong 100 \text{ В}$			Схема собрана правильно
	$U_{a0} = U_{b0} = U_{c0} \cong 58 \text{ В}$ $U_{ab} = \sqrt{3}U_{a0} \cong 100 \text{ В}$ $U_{bc} = U_{ca} \cong 58 \text{ В}$			Неправильно включена вторичная обмотка фазы C

Рисунок 22 – Пример проверки правильности сборки схемы вторичных обмоток ТТ в звезду

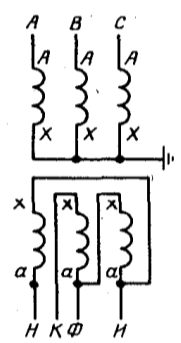
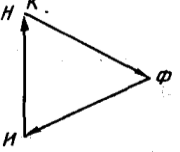
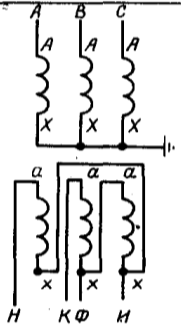
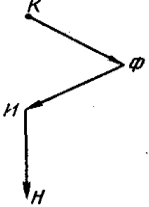
Схема соединений	Результат измерений	Векторная диаграмма напряжений		Заключение
		первичных	вторичных	
	Нейтраль сети заземлена $U_{\text{НИ}} = U_{\text{НФ}} = U_{\text{ИФ}} = U_{\text{ИК}} = U_{\text{ФК}} \cong 100 \text{ В}$ $U_{\text{НК}} = 0$			Схема собрана правильно
	Нейтраль сети изолирована $U_{\text{НИ}} = U_{\text{НФ}} = U_{\text{ИФ}} = U_{\text{ИК}} = U_{\text{ФК}} \cong 33 \text{ В}$ $U_{\text{НК}} \cong 0$			
	Нейтраль сети заземлена $U_{\text{НИ}} = U_{\text{ИФ}} = U_{\text{ИК}} = U_{\text{ФН}} \cong 100 \text{ В}$ $U_{\text{НФ}} \cong 173 \text{ В}$ $U_{\text{НК}} \cong 200 \text{ В}$		Вторичная обмотка фазы А включена неправильно	
	Нейтраль сети изолирована $U_{\text{НИ}} = U_{\text{ИФ}} = U_{\text{ИК}} = U_{\text{ФН}} \cong 33 \text{ В}$ $U_{\text{НФ}} \cong 58 \text{ В}$ $U_{\text{НК}} \cong 66 \text{ В}$			

Рисунок 23 – Пример проверки правильности сборки схемы вторичных обмоток ТТ в разомкнутый треугольник

7.12.3 После проверки схемы соединения обмоток ТН необходимо построить потенциальную диаграмму схемы разомкнутого треугольника. Для этого у однофазных трехобмоточных ТН должны быть вольтметром измерены напряжения между всеми фазами и нулем обмотки, соединенной в звезду, и каждым выводом разомкнутого треугольника. Для этого необходимо объединить в одной точке обмотки, соединенные в звезду и разомкнутый треугольник. Обычно это обеспечивается заземлениями вторичных обмоток.

В произвольном масштабе (удобен масштаб $1\text{В} = 1\text{мм}$) строится диаграмма напряжений обмоток, соединенных в звезду. На диаграмме совмещаются заземленные точки обеих обмоток.

Из концов векторов звезды радиусом в принятом масштабе, равным; измеренному напряжению между этим выводом и выводами разомкнутого треугольника, проводятся дуги. Точка их пересечения дает начало векторов напряжений обмоток, соединенных в разомкнутый треугольник. Пример построения этой диаграммы приведен на рисунке 24. Для остальных выводов построение выполняется аналогично.

Для построения достаточно двух измерений; третье – контрольное. Возможны случаи, когда из-за ошибок в измерении, изменения первичного напряжения и прочих причин три дуги не пересекаются в одной точке, а образуют треугольник.

В этом случае за начало вектора принимается центр треугольника. По потенциальной диаграмме проверяется правильность сборки схемы разомкнутого треугольника.

Для трехфазных ТН построение такой диаграммы невозможно, положение вектора $3U_0$ для них определяется имитацией однофазного замыкания на землю.

После построения потенциальной диаграммы обязательно определяется действительное значение и положение вектора $3U_0$ имитацией однофазного замыкания на землю. Необходимо убедиться в том, что сумма векторов напряжения $U_{ФК}$ и $U_{ИФ}$ у однофазных ТН ($U_{НК}$) в нормальном режиме совпадает с вектором $3U_0$ при замыкании на землю фазы A .

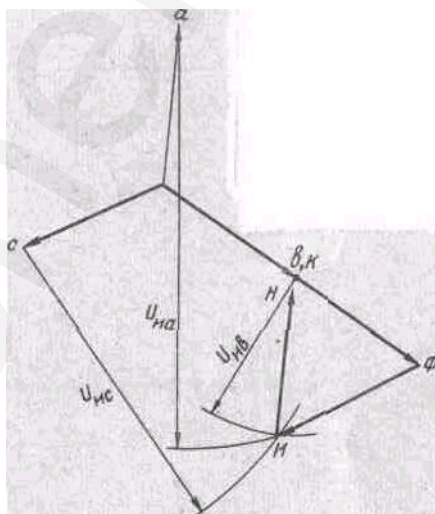


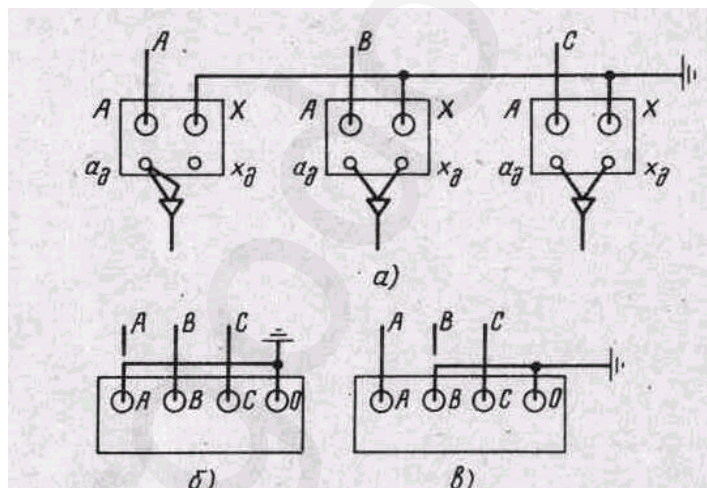
Рисунок 24 – Построение потенциальной диаграммы обмоток ТН, соединенных в разомкнутый треугольник

Это вызвано тем, что при проверке направленных защит от замыканий на землю невозможно создать действительное замыкание на землю; поэтому вместо действительного напряжения $3U_0$ к реле направления мощности, питающихся, от однофазных ТН, временно подается напряжение U_{HK} . Для этого от реле отключается вывод H , а вместо него подключается вывод I .

Для защит, питающихся от трехфазных ТН, такой способ проверки невозможен, для их проверки напряжение $3U_0$ создается имитацией однофазного замыкания на землю.

Имитация однофазного замыкания на землю обязательна для всех ТН, от которых питаются направленные защиты от замыканий на землю. Для трехфазных ТН это единственный способ проверки правильности сборки цепей $3U_0$, а для однофазных ТН не все ошибки в сборке схемы разомкнутого треугольника обнаруживаются снятием и построением потенциальной диаграммы.

Для однофазных трехобмоточных ТН имитацию однофазного замыкания следует выполнять отключениям от вывода X_d и соединением с выводом ad конца кабеля от фазы A к сборке зажимов (рисунок 25 а).



**Рисунок 25 – Способы создания $3U_0$ в нормальном режиме:
 для однофазных ТН (а); для трехфазных ТН с однофазными сердечниками (б);
 для трехфазных ТН с пятистержневым сердечником (в)**

Затем на все фазы ТН подается нормальное напряжение, снимается и строится потенциальная диаграмма (рисунок 26 а).

7.12.4 Для трехфазных ТН этот способ неприменим, поэтому для них имитацию однофазного замыкания следует выполнять отключением и замыканием на землю одной фазы с первичной стороны.

Для трехфазных ТН с однофазными сердечниками вывод A отключается от шин и замыкается на землю (см. рисунок 25 б), после чего на ТН подается трехфазное напряжение, снимается и строится потенциальная диаграмма (см. рисунок 26 б).

Для трехфазных ТН с пятистержневым сердечником отключается и замыкается на землю расположенная на среднем стержне фаза B (см. рисунок 25 в). Это необходимо для симметричного распределения по стержням сердечника магнитных потоков оставшихся фаз. Затем подается трехфазное напряжение на ТН, снимается и

строится диаграмма (см. рисунок 26 в). Во всех случаях потенциальная диаграмма $3U_0$ снимается и строится относительно всех оставшихся под напряжением фаз и нуля обмоток, соединенных в звезду.

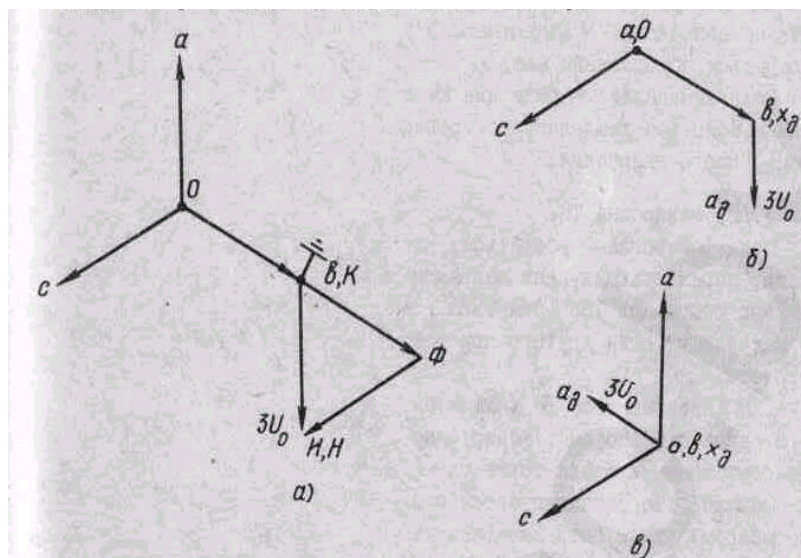


Рисунок 26 – Векторные диаграммы:
для однофазных ТН (а); для трехфазных ТН с однофазными сердечниками (б);
для трехфазных ТН с пятистержневым сердечником (в)

Трехфазные ТН обычно применяются в сетях с изолированной нейтралью, поэтому при имитации замыкания на землю значение напряжения $3U_0$ будет значительно меньше 100 В, возникающих при действительном замыкании на землю.

Такое же значение $3U_0$ будет и у однофазных ТН для сети с изолированной нейтралью при имитации однофазного замыкания на землю.

Встречаются случаи, когда для питания направленных защит применяются однофазные двухобмоточные ТН, вторичные обмотки которых соединены в разомкнутый треугольник. В этом случае при имитации замыкания на землю векторная диаграмма снимается и строится относительно напряжений другого ТН любого типа с соединением обмоток в звезду и питанием от тех же шин.

7.12.5 При последующих профилактических контролях и восстановлении под рабочим напряжением должны измеряться все фазные и линейные напряжения и напряжение $3U_0$ (напряжение небаланса) и проверяться чередование фаз.

Если заменялись кабели или переразделялись кабельные воронки и концевые разделки, то проверка должна производиться в объеме нового включения.

7.13 Фазировка ТН

Цель фазировки – убедиться, что при всех положениях устройств, переключающих цепи напряжения, на реле подаются одноименные фазы от разных ТН. Фазировка должна производиться для всех ТН, заменяющих один другого при всех положениях переключающих устройств.

Для фазировки оба ТН должны быть включены на одно напряжение с первичной

стороны, фазирuемые вторичные обмотки должны быть объединены в одной точке схемы, одинаковой для обоих ТН. Как правило, это обеспечивается заземлением вторичных обмоток. Вольтметром должны быть измерены напряжения между каждым выводом вторичных обмоток одного ТН и каждым выводом другого ТН. При одинаковых ТН показания вольтметра при включении между одноименными фазами (в пределах точности ТН и измерений) должно быть равно нулю, при включении на разноименные выводы – равно линейному или фазному напряжению. Следует учитывать, что при возможных ошибках в схемах напряжение между разноименными фазами может доходить до двойного линейного, поэтому вольтметр должен иметь верхний предел измерения не менее 200 В, и лишь убедившись в правильности сборки схемы, можно переходить на меньшие пределы измерений.

7.14 Проверка правильности схемы переключения цепей с одного ТН на другой и правильности маркировки на входных выводах панелей

7.14.1 Проверку правильности маркировки на входных выводах панелей рекомендуется производить вольтметром и фазоуказателем. Для этого измерением напряжений относительно земли следует определить заземленные выводы: фазу *В* в схеме звезды и открытого треугольника, вывод *К* в схеме разомкнутого треугольника. Эти напряжения должны быть равны нулю. Напряжение относительно земли нуля звезды должно быть равно фазному, напряжения относительно земли остальных фаз звезды и открытого треугольника равны линейному.

Напряжение между выводами *И* и *Ф* разомкнутого треугольника и землей равно фазному, напряжение между выводом *Н* и землей – напряжению небаланса. Напряжение на выводах *Н* и *К* следует измерять низкоомным вольтметром с полным сопротивлением в пределах 150–200 Ом, чтобы уменьшить влияние возможных наводок, или осциллоскопом по составляющей основной частоты.

Определение маркировки незаземленных фаз производится фазоуказателем. К выводу *В* (II) фазоуказателя подключается заземленный вывод – фаза *в* в схемах звезды и открытого треугольника и вывод *К* разомкнутого треугольника. К выводам *А* (I) и *С* (III) подключаются произвольно фазы *А* и *С* звезды и открытого треугольника и выводы *И* и *Ф* разомкнутого треугольника.

Подбирается такая схема, чтобы фазоуказатель показал правильное чередование фаз *А*, *В*, *С* (по стрелке на диске). Фазы *а* и *с* звезды и открытого треугольника маркируются по обозначениям выводов фазоуказателя. В схеме разомкнутого треугольника вывод *φ* соответствует обозначению *С* (III) фазоуказателя, вывод *И* – обозначению *А* (I).

Такая проверка производится на входных выводах всех панелей, куда подается напряжение. Если цепи напряжения переключаются с одного ТН на другой, то проверка производится при обоих положениях переключающего аппарата – переключателя с ручным управлением, блок-контактов разъединителей и реле-повторителей. В зависимости от местных условий проверка маркировки после переключающего аппарата производится одновременно с проверкой ТН или одновременно с проверкой питающихся по этим цепям устройств защиты и автоматики.

7.14.2 Определить наименование фаз (маркировку) на входных выводах панелей возможно и пофазной подачей напряжения. В шкафу ТН отключаются две фазы звезды и нуль, остается подключенной заземленная фаза *В*.

На всех панелях опускаются мостики всех входных выводов в цепях напряжения, чем отключается вторичная нагрузка ТН. Измерением напряжения относительно земли проверяют подключение только заземленной фазы *В*. Затем подключается фаза *А* и измерением напряжения определяются выводы, к которым она подключена. Отключается фаза *А*, поочередно подключаются и определяются фазы *С*, *0* и выводы разомкнутого треугольника. Отключать всю нагрузку ТН необходимо для того, чтобы через обмотки реле и приборов не было подано напряжение включенной фазы на выводы других фаз.

7.15 Измерение нагрузки и потерь напряжения во вторичных цепях

7.15.1 Измерение потерь напряжения во вторичных цепях затруднено по следующим причинам:

а) малое абсолютное значение потерь – от 0,2 до 3 В (0,2–3 %), что требует измерительных приборов на малые пределы измерения и высокого класса точности – не ниже 0,2 для цепей счетчиков и не ниже 0,5 для цепей защиты;

б) большое (несколько сот метров) расстояние между ТН и местом установки измерительных приборов и реле;

в) возможность резкого изменения нагрузки на ТН при срабатывании различных устройств релейной защиты и автоматики и трудность создания режима максимальной нагрузки на ТН.

7.15.2 Если расстояние от ТН до реле или измерительных приборов невелико, то потери напряжения рекомендуется измерять по схеме, приведенной на рисунке 27, где вольтметр показывает непосредственно значение потерь напряжения. Обычно длина кабелей от ТН по первой сборки выводов (СВ) в таких РУ невелика и потерями напряжения в них можно пренебречь.

Второй вывод вольтметра подключается к сборке измерительных выводов на входе панели или непосредственно к выводам реле или приборов (П, Р) в зависимости от значения сопротивления проводов между реле и зажимами.

7.15.3 При больших расстояниях от ТН до панелей защиты и измерительных приборов, например в РУ 110–330 кВ, непосредственное измерение потерь напряжения выполнить трудно. Требуется прокладка проводов для вольтметра, кроме того, нельзя пренебрегать потерями напряжения в кабелях между ТН и его шкафом; вольтметр приходится включать на выводы ТН. Поэтому в таких случаях непосредственное измерение потерь напряжения рекомендуется заменять ее расчетом по результатам измерения нагрузки и определенного ранее сопротивления цепей. Измерение нагрузки производится для каждого участка цепи, сопротивление которого измерялось ранее. Измерением тока во всех фазах определяется наиболее нагруженная из них. Любым способом, приведенным в СТП 09110.35.302, измеряется угол между вектором тока наиболее нагруженной фазы и ее фазным напряжением или его $\cos \varphi$. Так как абсолютное значение потерь напряжения мало по сравнению со значением номинального напряжения, то угол между векторами напряжения на

выводах ТН $U_{ТН}$ и напряжения в конце участка сети U_C (рисунок 28) очень мал (около $2-3^\circ$). Поэтому с достаточной для практических целей точностью можно принять потери напряжения $\Delta U = |U_{ТН}| - |U_C|$ равным $\sqrt{3} I_r \cos \varphi$ и вычислить их по результатам измерения $I, r, \cos \varphi$.

При отсутствии нулевого провода измеряется угол между векторами тока и опережающим его линейным напряжением – например, угол между векторами тока I_a и напряжения $U_{ав}$. В этом случае потери напряжения будут равны $\sqrt{3} I_r \cos(\varphi + 30^\circ)$.

Если нагрузка питается только по двум фазам без нулевого провода, то измеряется угол между вектором тока и линейного напряжения. Потери напряжения в этом случае равны $2I_r \cos \varphi$. Полные потери напряжения от ТН до наиболее удаленной панели можно считать равными сумме потерь напряжений на отдельных участках.

При двойной системе шин для случая перевода всей нагрузки на один ТН потери напряжения в основном кабеле (от ТН до щита) могут быть вычислены по результатам измерений для ТН каждой системы шин путем геометрического суммирования векторов тока и определения нового угла φ для суммарного тока.

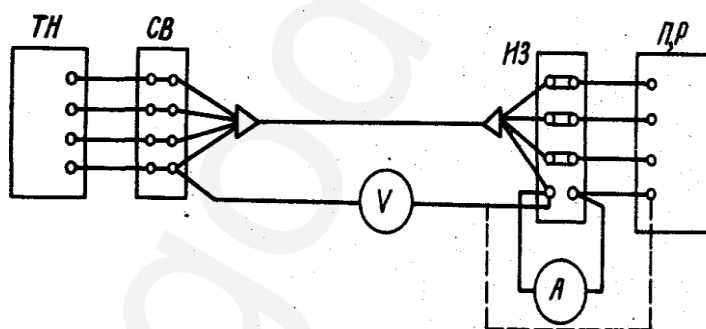


Рисунок 27 – Схема измерения потерь напряжения

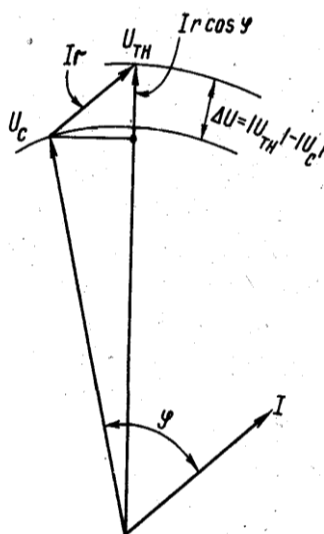


Рисунок 28 – Векторная диаграмма для расчета потерь напряжения

Для схемы разомкнутого треугольника при новом включении РУ искусственно создаются напряжение $3U_0$ и полная нагрузка этой цепи и измеряется угол между векторами напряжения $3U_0$ и тока в цепи $3U_0$ ТН. Необходимо при этом учитывать разные значения напряжения $3U_0$ при действительном замыкании на землю и его имитации и соответственно увеличивать при расчетах ток. Потери напряжения равны $2I_r \cos \varphi$.

Если это выполнить невозможно, то потери напряжения определяются расчетным путем. Для этого следует измерить ток и угол между векторами тока и напряжения наиболее характерных нагрузок (обычно реле направления мощности разных типов) и по этим данным вычислить потери напряжения для суммарного тока и общего угла.

7.15.4 Одновременно с измерением потерь напряжения измеряется и нагрузка на ТН во всех фазах и на выводах ТН. Включение амперметра на рисунке 27 показано условно. Его следует включать в каждый кабель, подключенный к релейному щиту, или в первом от ТН шкафу так, чтобы он учитывал всю нагрузку ТН. Если от шкафа отходит не один кабель, а два или три, например отдельные кабели релейной защиты и счетчиков или измерительных приборов, то потери напряжения и нагрузка в каждом кабеле измеряются поочередно. Желательно иметь несколько одинаковых амперметров и включать их сразу во все фазы или выводы. Предел измерения подбирается по проектной нагрузке ТН или по его номинальному току, класс точности достаточен 0,5. Нагрузка ТН обычно неравномерна и может изменяться в разных фазах по-разному при срабатывании различных устройств защиты и автоматики. В цепях измерительных приборов нагрузка обычно постоянная и измерение ее нетрудно. Для цепей релейной защиты и автоматики необходимо измерять потери напряжения при максимальной нагрузке. Для этого тщательно анализируется поведение релейной защиты и автоматики при различных режимах работы сети, при КЗ и определяется режим, создающий максимальную нагрузку на ТН. Необходимо учитывать и нагрузку других ТН, для которых проверяемый является резервным, и перевести эту нагрузку на проверяемый ТН.

Затем отключаются выключатели или рубильники в шкафу ТН, устройства защиты и автоматики, создающие максимальную нагрузку, от руки устанавливаются в сработавшее положение и закрепляются временными прокладками или временными прокладками или креплениями. Затем включаются выключатели или рубильники и производятся измерения нагрузки.

При измерениях необходимо учитывать термическую стойкость кратковременно включаемых обмоток реле и производить измерения быстро.

После окончания измерений вычисляются потери напряжения в процентах, по значению нагрузки проверяется класс точности ТН полностью восстанавливается вся схема, возвращаются в исходное положение реле.

7.15.5 Для схемы разомкнутого треугольника необходимо создать напряжение $3U_0$. Проще всего это достигается исключением из схемы вторичной обмотки фазы А, как указано на рисунке 25 а. Для трехфазных ТН напряжения $3U_0$ создается отключением и заземлением с первичной стороны одной из фазы по рисункам 25 б и 25 в.

Следует учитывать, что напряжение $3U_0$ в этом режиме для трехфазных ТН

составляет 33 В вместо 100 В.

7.16 Опыт КЗ

Проведение опыта КЗ во вторичных цепях ТН обязательно для всех ТН.

Рекомендуется проводить эти испытания с осциллографированием тока КЗ для всех ТН крупных электростанций 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 ТН всех напряжений.

Опыт КЗ должен производиться по специальной программе, составляемой для каждого случая с учетом конкретной схемы каждого ТН и местных условий.

Схема включения осциллографа, согласование схемы пуска осциллографа с моментом КЗ, подбор резисторов и шунтов должны производиться по документации изготовителя на осциллографы и местным условиям и указываться в программе.

Место КЗ должно выбираться в конце участка сети, защищаемого данным выключателем или предохранителем. Вид КЗ должен выбираться таким, при котором ток наименьший.

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

Для проведения опыта КЗ в цепях $3U_0$ должна быть подготовлена схема для создания напряжения $3U_0$ с учетом его действительного значения.

7.17 Проверка отстройки автоматических выключателей от зарядного тока линии и пусковых токов нагрузки

7.17.1 Для ТН, подключенных к линиям электропередачи, кроме проверки чувствительности автоматических выключателей обязательна проверка их отстройки от зарядного тока линии. Для этой проверки требуется несколько раз включать и отключать линию, поэтому она должна производиться по специальной программе, составляемой и утверждаемой в установленном порядке. При этих опытах обязательно осциллографирование емкостного тока линии. По осциллограмме оценивается запас в отстройке расцепителей выключателя от емкостного тока. Способы осциллографирования, согласование пуска и остановки осциллографа с включением и отключением линии определяются местными условиями и указываются в программе.

7.17.2 У всех автоматических выключателей должна проверяться отстройка от пусковых токов максимальной нагрузки ТН. Для этого после подачи напряжения на ТН переводится вся возможная нагрузка, в том числе и та, для которой данный ТН является резервным. Несколько раз рубильником или проверяемым выключателем включается полная нагрузка ТН. Выключатель не должен отключаться. Необходимо осциллографировать пусковые токи нагрузки или осуществлять приблизительное измерение пускового тока амперметром, например с

помощью измерительных клещей во всех фазах. Это вызвано тем, что многие приборы и реле, питающиеся от ТН, имеют малое сопротивление при отпущенном якоре (сердечнике), что создает значительный пусковой ток. После установки якоря (сердечника) в рабочее положение сопротивление значительно увеличивается, а ток уменьшается. Рекомендуемое испытание имитирует близкое КЗ в первичной сети и перевод нагрузки с одного ТН на другой в аварийных условиях.

7.18 Оформление результатов проверки

По результатам проверки должен оформляться паспорт-протокол на каждый трехфазный ТН или группу однофазных ТН. Рекомендуемая форма паспорта-протокола ТН приведена в приложении Б.

Приложение А (рекомендуемое)

Форма

наименование организации
(филиала РУП-облэнерго, БелАЭС)

(энергообъект)

ПАСПОРТ-ПРОТОКОЛ ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА

1 Основные характеристики

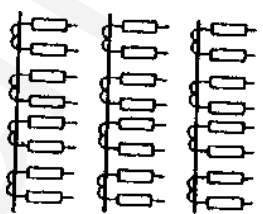
Паспортные данные _____

Тип трансформатора тока _____

Коэффициент трансформации _____

Год выпуска _____

Обозначение обмотки	Класс точности	Номинальный режим нагрузки		Номинальная предельная кратность $K_{10\text{ ном}}$
		Ом	В·А	

Схема соединений и полярность трансформаторов тока*		Загрузка трансформаторов тока**	
Фаза Сторона Полярность		Маркировка	
Обозначение обмоток			

* Показать полную схему соединения с заземлениями. В прямоугольниках указать полярность и обозначение выводов вторичных обмоток.

** Показать полную схему соединения с заземлениями. В прямоугольниках указать полярность и обозначение выводов вторичных обмоток.

Основные кабели

№ п/п	Наименование	Маркировка	Марка	Сечение, мм ²	Длина, м	Сопротивление жил, Ом

Соединительные муфты

№ п/п	Обозначение кабеля	Расстояние по длине кабеля от трансформатора тока до муфты

2 Проверка при новом включении

2.1 Внешний осмотр

Элементы схемы	Состояние
Выводы	
Сборки выводов	
Заземления	
Уплотнения	
Кабельные разделки	
Кабели и соединительные муфты	

2.2 Проверка схемы соединения токовых цепей

Схема и маркировка соответствуют монтажной схеме № _____

2.3 Проверка сопротивления изоляции трансформаторов тока и их вторичных цепей по элементам мегаомметром на _____ В

Обозначение трансформатора тока						
Сопротивление изоляции между обмотками, МОм						
Сопротивление изоляции на землю, МОм						
Обозначение кабеля						
Сопротивление изоляции на землю, МОм						
Минимальное сопротивление изоляции между жилами, МОм						
Сопротивление изоляции на землю в полной схеме, МОм						

2.4 Проверка электрической прочности изоляции токовых цепей на землю

Изоляция токовых цепей испытана напряжением _____ В в течение _____ минут. Изоляция испытана мегаомметром на _____ В.
Соппротивление изоляции _____ Ом (Мом).

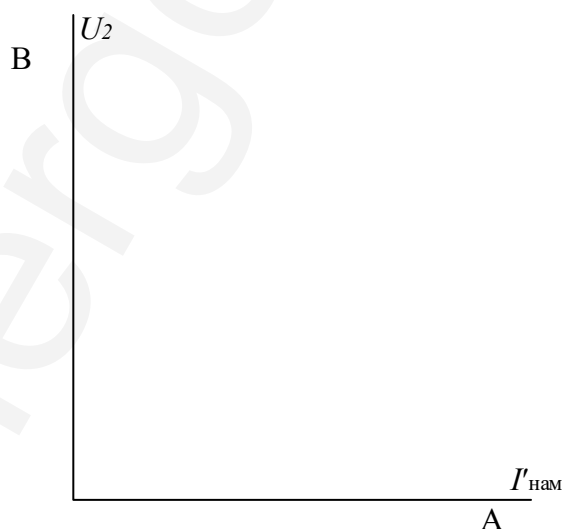
2.5 Проверка полярности и схемы соединений трансформаторов тока

Однополярные зажимы _____

2.6 Снятие характеристики намагничивания $U_2 = f(I'_{\text{нам}})$

Обозначение обмотки																
Класс трансформатора тока																
Фаза		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Нагрузка трансформатора тока, Ом																
<i>K</i> _{ТТ} при снятии характеристики намагничивания																
Результаты измерения	<i>I</i> ' _{нам}	<i>U</i> ₂			<i>I</i> ' _{нам}	<i>U</i> ₂			<i>I</i> ' _{нам}	<i>U</i> ₂			<i>I</i> ' _{нам}	<i>U</i> ₂		

Вольт-амперная характеристика для рабочего коэффициента трансформации



Приборы _____
Способ и схема проверки _____

2.7 Проверка коэффициента трансформации первичным током ____ А

Фазы	Вторичный ток ____ А при ответвлениях вторичной обмотки									Установленный коэффициент трансформации
A										
B										
C										
A										
B										
C										
A										
B										
C										
A										
B										
C										

2.8 Проверка схемы соединения трансформаторов тока вторичным током

Фаза	Номер трансформатора тока	I_1 , А	I_2 , А	Схема соединения трансформатора тока	Номер трансформатора тока	I_1 , А	I_2 , А	Схема соединения трансформатора тока	Номер трансформатора тока	I_1 , А	I_2 , А	Схема соединения трансформатора тока
A												
B												
C												
0												

2.9 Измерение нагрузок вторичных обмоток трансформаторов тока при различных значениях тока

Сочетание фаз	Значение нагрузки вторичных обмоток при токе								
	...А			...А			...А		
	U, В	z, Ом	z, Ом/фаза	U, В	z, Ом	z, Ом/фаза	U, В	z, Ом	z, Ом/фаза
A-B									
B-C									
C-A									
A-0									
B-0									
C-0									

2.10 Дополнительные проверки

Начальник СРЗАИ
(ЭТЛ ЭЦ, СРЗА ЭЦ БелАЭС)

(Ф.И.О.)

(подпись)

Проверку произвел

(Ф.И.О.)

(подпись)

3 Результаты эксплуатационных проверок

Дата	Наименование и объем проверки. Выявленное отклонение характеристик. Обнаруженные дефекты	Сопротивление изоляции токовых цепей на землю обмотки, МОм				Подпись лица, осуществляющего	
		I	II	III	IV	проверку	контроль

Изменение схемы соединений и нагрузки трансформаторов тока

Дата	Произведенные изменения	Подписи	
		лица, осуществляющего проверку	начальника СРЗАИ (ЭТЛ ЭЦ, СРЗА ЭЦ БелАЭС)

Приложение Б (рекомендуемое)

Форма

наименование организации
(филиала РУП-облэнерго, БелАЭС)

(энергообъект)

ПАСПОРТ-ПРОТОКОЛ ТРАНСФОРМАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ И ЕГО ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ

1 Трансформатор напряжения

1	Место установки трансформатора напряжения				
2	Тип, номинальное напряжение, схема соединения обмоток				
3	Заводской номер				
4	Год выпуска				
5*	Тип и № конденсатора				
	Коэффициент деления				
	Положение переключателей: реактора трансформатора				
6	Класс точности	0,5	1	3	Предельная мощность
	Мощность, В·А				
7	Однополярные выводы				
8	Измерение сопротивления трансформатора напряжения:				
	замкнуты выводы				
	питание подано на выводы				
	напряжение _____ В				
	ток _____ А				
	измерено сопротивление, Ом				
	расчетное сопротивление, Ом/фазу				
9	Состояние по внешнему осмотру трансформатора напряжения				

*Заполняется для ТН типа НДЕ

2 Основные кабели

№ п/п	Место прокладки	Маркировка кабеля	Марка кабеля	Сечение (мм ²) и число жил	Длина, м	Сопротивление изоляции, МОм	
						между жилами	по отношению к земле

Места установки специальных муфт:

№ кабеля	Расстояние по трассе от шкафа трансформатора напряжения, м

3 Вторичные цепи

3.1 Вторичные цепи и маркировка выполнены по принципиальной схеме № _____ и монтажной схеме № _____ проекта, выполненного _____.

3.2 Состояние вторичных цепей, кабельных разделок, шкафов, блок-контактов разъединителей, трассы кабелей по внешнему осмотру _____

3.3 Сопротивление изоляции полной схемы вторичных цепей относительно земли, измеренное мегаомметром на напряжение _____ В _____.

3.4 Результаты испытания переменным напряжением 1000 В в течение 1 минуты _____

3.5 Принципиальная схема соединения обмоток ТН и размещение автоматических выключателей, предохранителей, рубильников и прочей аппаратуры с обозначением выводов трансформатора напряжения

3.6 Измерение сопротивления вторичных цепей

№ п/п	Цепь от _____ до _____	Место установки закоротки	Место подключения питания	Напряжение, В	Ток, А	Сопротивление, Ом

3.7 Расчетные значения сопротивлений

№ п/п	Цепь от — до —	Сопротивление цепи «звезда», Ом				Сопротивление цепи «разомкнутый треугольник», Ом			
		фазы				жилы			
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>0</i>	<i>H</i>	<i>K</i>	<i>И</i>	<i>Ф</i>

3.8 Расчет тока КЗ и чувствительности защиты вторичных цепей от КЗ

№ п/п	Место КЗ	Замкнуты фазы	Ток КЗ расчетный	Тепловой расцепитель или предохранитель		Отсечки	
				Номиналь- ный ток	Чувстви- тельность	Ток срабаты- вания	Чувстви- тельность

3.9 Проверка автоматических выключателей

№ п/п	Место установки и тип автоматичес- кого выключателя	Номинальный ток расцепителя	Кратность отсечки	Ток срабатывания отсечки	Время срабатывания, с, при кратности К				
					К=	К=	К=	К=	К=

4 Проверка под рабочим напряжением

4.1 Проверка соответствия обозначений фаз пофазной подачей напряжения на трансформаторе напряжения

Обозначения фаз с первичной стороны	
Обозначения фаз на вторичной стороне	
Расцветка фаз в проверяемом РУ	
Чередование фаз проверяемого РУ	

4.2 Проверка правильности соединения обмоток трансформатора напряжения измерением напряжений

Схема	Фазы	Значение, В	Измерения для потенциальной диаграммы		Фазы	Значение, В
			Фазы	Значение, В		
Звезда	<i>ab</i>		<i>Ha</i>		<i>a-земля</i>	
	<i>ca</i>		<i>Hb</i>		<i>c-земля</i>	
	<i>bc</i>		<i>Hc</i>		<i>b-земля</i>	
	<i>a0</i>		<i>Ua</i>		<i>0-земля</i>	
	<i>b0</i>		<i>Ub</i>		<i>H-земля</i>	
	<i>c0</i>		<i>Uc</i>		<i>И-земля</i>	
Разомкнутый треугольник	<i>HI</i>		<i>Φ-a</i>		<i>Φ-земля</i>	
	<i>HΦ</i>		<i>Φ-b</i>		<i>K-земля</i>	
	<i>HK</i>		<i>Φ-c</i>			
	<i>ИΦ</i>		Чередование фаз во вторичных цепях			
	<i>ИК</i>					
	<i>ΦK</i>					

4.3 Получение $3U_0$ способом _____ и построение его относительно звезды трансформатора напряжения _____

Фазы	<i>Ha</i>	<i>Hb</i>	<i>Hc</i>	<i>H₀</i>	<i>Ua</i>	<i>Ub</i>	<i>Uc</i>	<i>U₀</i>
Значение, В								

4.4 Фазировка трансформатора напряжения _____ с трансформатором напряжения _____

Место фазировки	Результаты	Место фазировки	Результаты

4.5 Векторные диаграммы разомкнутого треугольника и $2U_0$

4.6 Проверка, правильности маркировки, переключения цепей и чередования фаз на входе панелей

Место проверки	Результаты	Место проверки	Результаты

4.7 Измерение потерь напряжения и нагрузки на трансформатор напряжения способом _____

Режим	Ток нагрузки, А, в фазах								Потери напряжения, В, в фазах								Заключение
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	0	<i>H</i>	<i>И</i>	Φ	<i>K</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	0	<i>H</i>	<i>И</i>	Φ	<i>K</i>	
Нормальный																	
Максимальная нагрузка одного ТН																	
При резервировании ТН в нормальном режиме																	

4.8 Определение класса точности трансформатора напряжения

Режим	Расчетная нагрузка, А, в фазах							Класс точности ТН
	<i>ab</i>	<i>bc</i>	<i>ca</i>	<i>a0</i>	<i>b0</i>	<i>c0</i>	<i>HK</i>	
Нормальный								
Максимальная нагрузка одного ТН								
При резервировании ТН в нормальном режиме								

4.9 Опыт КЗ

Место КЗ	Вид КЗ	Ток КЗ	Чувствительность расцепителей	
			теплового или предохранителя	отсечки

Измерения проводились амперметром _____ / осциллографом _____

4.10 Отстройка отсечек расцепителей от емкостного и пускового токов

Вид отстройки	Ток, А	Отстройка	Вид отстройки	Ток, А	Отстройка

Измерения проводились амперметром _____ / осциллографом _____

4.11 Дата проверки _____

Проверку произвел _____
(Ф.И.О.) (подпись)

Начальник СРЗАИ
(ЭТЛ ЭЦ, СРЗА ЭЦ БелАЭС) _____
(Ф.И.О.) (подпись)

Приложения: осциллограммы опытов _____

5 Результаты плановых проверок

Дата	Наименование и объем проверки. Выявленное отклонение характеристик. Обнаруженные дефекты	Сопротивление изоляции всех цепей ТН по отношению к земле, МОм		Подпись лица, осуществляющего	
		Звезда	Разомкнутый треугольник	проверку	контроль

Изменения схемы вторичных цепей и нагрузки вторичных обмоток трансформатора напряжения

Дата	Произведенные изменения	Подписи	
		лица, осуществляющего проверку	начальника СРЗАИ (ЭТЛ ЭЦ, СРЗА ЭЦ БелАЭС)