

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. В.Г. Шухова»**

Кафедра «Электроэнергетика и автоматика»

Лабораторная работа № 4

Дисциплина: «Электрические станции и
подстанции»

Тема: «Измерительные трансформаторы
тока. Исследование схем включения
вторичных обмоток трансформаторов тока»

Выполнил: студент гр. Э-3 _____

Проверил: доцент Д.А.Прасол

Лабораторная работа № 4

Измерительные трансформаторы тока. Исследование схем включения вторичных обмоток трансформаторов тока

Цель работы: Изучить назначение трансформаторов тока и всех его элементов. Ознакомиться с принципом действия и особенностями режимов работы трансформаторов тока. Исследовать зависимость погрешности измерений от различных факторов. Изучить основные технические параметры, конструкции трансформаторов тока и их основных узлов. Рассмотреть возможные схемы включения первичных и вторичных обмоток трансформаторов тока. Изучить схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока, используемых в устройствах релейной защиты и автоматики. Выделить особенности каждого из типов трансформаторов ток и области их применения. Выполнить выбор и проверку трансформатора тока по заданным условиям.

Основные понятия и определения

Измерительным трансформатором тока (ТТ) называется аппарат, предназначенный для преобразования тока до значения, удобного для измерения (5 А, реже 1 или 2,5 А), и выполненный таким образом, что вторичный ток, умноженный на номинальный коэффициент трансформации, соответствует с требуемой точностью первичному току как по модулю, так и по фазе.

Первичная обмотка ТТ включается в цепь последовательно (в рассечку токопровода), а вторичная обмотка замыкается на некоторую нагрузку (измерительные приборы и реле), обеспечивая прохождение по ней тока, пропорционального току в первичной обмотке, рисунок 4.1.

В ТТ высокого напряжения первичная обмотка изолирована от вторичной обмотки (земли) на полное рабочее напряжение. Один конец вторичной обмотки обычно заземляется. Поэтому она имеет потенциал, близкий к потенциалу земли.

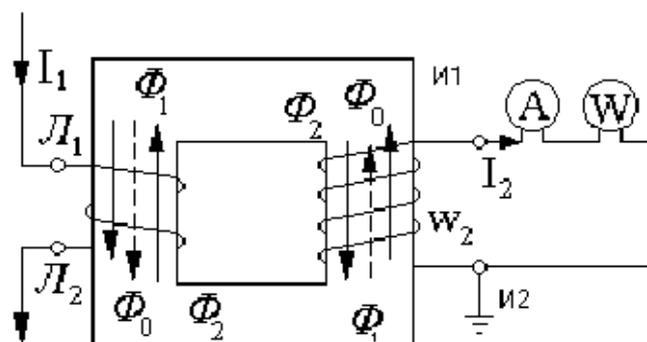


Рис. 4.1. Принципиальная схема трансформатора тока

Трансформатор тока осуществляет:

- преобразование переменного тока любого значения в переменный ток, приемлемый по значению для непосредственного измерения с помощью стандартных измерительных приборов или для работы реле защиты и автоматики;
- изоляцию измерительных приборов, а также реле защиты и автоматики, к которым имеет доступ обслуживающий персонал, от цепи высокого напряжения.

Все ТТ классифицируются по следующим основным признакам:

- по роду установки: ТТ для работы на открытом воздухе, для работы в закрытых помещениях, для встраивания во внутренние полости электрооборудования, для специальных установок;
- по способу установки: проходные ТТ, предназначенные для использования в качестве вводов и устанавливаемые в проемах стен, потолков или в металлических конструкциях; опорные, предназначенные для установки на опорной плоскости; встраиваемые, т.е. предназначенные для установки во внутренние полости электрооборудования;
- по числу коэффициентов трансформации: с одним коэффициентом трансформации, с несколькими коэффициентами трансформации, получаемыми изменением числа витков первичной или вторичной обмотки, или обеих обмоток, или применением нескольких вторичных обмоток с различным числом витков, соответствующих различным значениям номинального вторичного тока;
- по числу ступеней трансформации: одноступенчатые, каскадные (многоступенчатые), т.е. с несколькими ступенями трансформации тока;

- по выполнению первичной обмотки: одновитковые, многovitковые.

Принципиальная схема одноступенчатого ТТ приведена на рисунке 4.1. Как видно из схемы, основными элементами трансформатора тока, участвующими в преобразовании тока, являются первичная W_1 и вторичная W_2 обмотки, намотанные на один и тот же магнитопровод. Первичная и вторичная обмотки изолированы друг от друга на полное рабочее напряжение. Это позволяет осуществлять непосредственное присоединение измерительных приборов или реле защиты и автоматики к вторичной обмотке и, тем самым, исключить воздействие высокого напряжения, приложенного к первичной обмотке, на обслуживающий персонал. Так как обе обмотки намотаны на один и тот же магнитопровод, то они являются магнитосвязанными.

Первичный ток I_1 , проходя по первичной обмотке, создает в магнитопроводе переменный магнитный поток Φ_1 , который, пересекая витки вторичной обмотки, индуцирует в ней ЭДС. Если к вторичной обмотке присоединена нагрузка, то во вторичной обмотке и во вторичной цепи будет проходить вторичный ток I_2 , имеющий направление, обратное направлению тока I_1 . Вторичный ток I_2 создает магнитный поток Φ_2 , направленный встречно потоку Φ_1 . В результате сложения магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 в магнитопроводе устанавливается результирующий магнитный поток Φ_0 , составляющий несколько процентов потока Φ_1 .

Трансформаторами тока для внутренней установки называются трансформаторы тока, предназначенные для работы в отапливаемых или не отапливаемых помещениях при определенных характеристиках окружающей среды.

Для основной изоляции трансформатора тока внутренней установки используется фарфор или эпоксидный компаунд. В последние годы изоляция из эпоксидного компаунда получает все более широкое распространение, вытесняя фарфоровую изоляцию.

Условное обозначение трансформатора тока внутренней установки состоит из двух частей: буквенной и цифровой. Буквенная часть состоит из нескольких

букв, имеющих следующие значения: Т – трансформатор тока, П – проходной, О – одновитковый стержневой, Ш – одновитковый шинный, В – с воздушной изоляцией, встроенный или с водяным охлаждением магнитопровода, Г – для генераторных токопроводов, К – катушечный, Л – с литой изоляцией, М – модернизированные или малогабаритный, Ч – для повышенной частоты, С – специальный.

Буквы и обозначения типа трансформатора тока располагаются в определенной последовательности. Цифровая часть условного обозначения, стоящая за буквенной частью, соответствует номинальному напряжению трансформатора тока в киловольтах.

Пример условного обозначения типа трансформатора тока: трансформатор тока проходной одновитковый с литой изоляцией на номинальное напряжение 10 кВ обозначается ТПОЛ-10.

Трансформаторы тока наружной установки предназначены для работы в открытых распределительных устройствах. Характеристики среды, окружающей распределительные устройства, значительно различаются между собой. Это обусловлено различными климатическими условиями, загрязнением атмосферы промышленными уносами и т.п.

Трансформаторы тока наружной установки изготавливаются на номинальные напряжения от 35 до 1150 кВ и номинальные токи до 4000 А.

В трансформаторах тока наружной установки преимущественное применение получила бумажно-масляная изоляция.

В настоящее время выпускаются опорные ТТ наружной установки со следующими разновидностями бумажно-масляной изоляции:

- с чисто бумажно-масляной изоляцией на номинальные напряжения 35-500 кВ;
- с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа на номинальные напряжения 220, 330 и 400 кВ;
- с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа рывовидной формы на номинальные напряжения 330-750 кВ.

Первичная обмотка трансформатора тока наружной установки в большинстве случаев состоит из двух секций, которые могут соединяться параллельно или последовательно. Это позволяет иметь два коэффициента трансформации. Число вторичных обмоток в трансформаторах тока наружной установки бывает от двух до пяти. Одна из них предназначена для измерений, а остальные – для релейной защиты.

Обозначение типа трансформатора тока наружной установки состоит из двух частей: буквенной и цифровой. Буквенная часть содержит несколько букв, имеющих следующие значения: Т – трансформатор тока; Ф – с фарфоровой изоляцией; Н – наружной установки; К – с конденсаторной бумажно-масляной изоляцией или каскадный; М – модернизированный; Д – для дифференциальной защиты; Р – для релейной защиты с изоляцией рымовидной формы.

Пример обозначения типа трансформатора тока: ТФЗМ-35 – трансформатор тока наружной установки с первичной обмоткой звеньев типа расположенной в фарфоровом изоляторе, модернизированный, на номинальное напряжение 35 кВ.

Наиболее полную информацию о конструкции, принципе работы и условиях эксплуатации трансформаторов тока можно найти в каталогах компаний-производителей [1].

Питание устройств релейной защиты током сети производится по рассмотренным ниже типовым схемам соединений трансформаторов тока и обмоток реле. Поведение и работа реле в каждой из этих схем зависят от характера распределения токов в ее вторичных цепях в нормальных и аварийных условиях. Для нахождения токораспределения в схеме сначала показываются положительные управления действующей величины первичных токов при рассматриваемом виде к.з.; затем наносятся стрелки вторичных токов в каждом трансформаторе тока, по которому проходит первичный, после чего показывается путь, по которому замыкается вторичный ток каждого трансформатора тока. Если в каком-либо элементе схемы (проводе или обмотке реле) вторичные токи разных фаз складываются или вычитаются, то результирующий ток в этом элементе

находится путем геометрического сложения или вычитания соответствующих векторов фазных токов с учетом их сдвигов по фазе. Для каждой схемы соединений можно определить отношение тока в реле I_p к току в фазе I_ϕ . Это отношение называется коэффициентом схемы:

$$k_{cx} = \frac{I_p}{I_\phi} \quad (4.1)$$

Коэффициент схемы учитывается при расчете уставок и оценке чувствительности защиты.

Схема соединения трансформаторов тока и обмоток реле в полную звезду. Трансформаторы тока устанавливаются во всех фазах. Вторичные обмотки трансформаторов тока и обмотки реле соединяются в звезду и их нулевые точки связываются одним проводом, называемым нулевым. В нулевую точку объединяются одноименные зажимы обмоток трансформаторов тока.

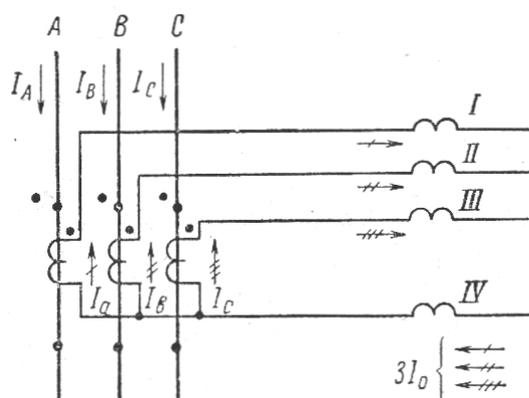


Рис. 4.2. Схема соединения трансформаторов тока и обмоток реле в звезду

Схема соединения трансформаторов тока и обмоток реле в неполную звезду. Трансформаторы тока устанавливаются в двух фазах и соединяются так же, как и в схеме звезды. При замыкании на землю фазы В, в которой трансформатор тока не установлен, токи в схеме защиты не появляются; следовательно, схема неполной звезды реагирует не на все случаи однофазного к.з. и поэтому применяется только для защит, действующих при междуфазных повреждениях.

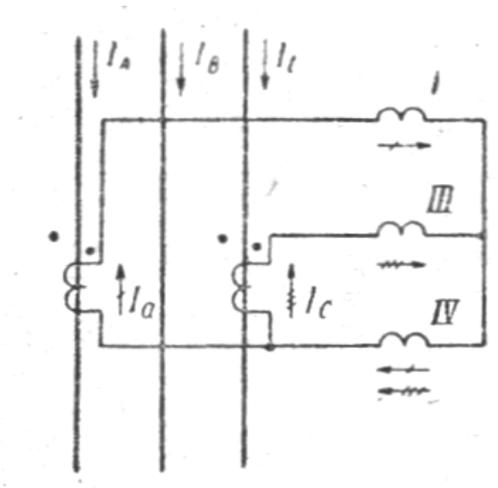


Рис. 4.3. Схема соединения трансформаторов тока и обмоток реле в неполную звезду

Схема соединения трансформаторов тока в треугольник, а обмоток реле в звезду. Вторичные обмотки трансформаторов тока, соединенные последовательно разноименными выводами (рис. 4.4), образуют треугольник. Реле, соединенные в звезду, подключаются к вершинам этого треугольника. Из токораспределения на рис. 4.4. видно, что в каждом реле проходит ток, равный геометрической разности токов двух фаз.

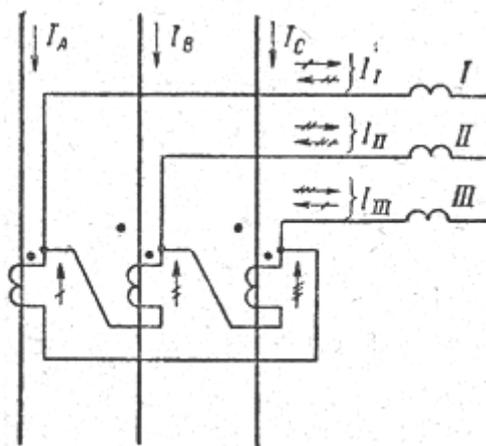


Рис. 4.4. Схема соединения ТТ в треугольник, а обмоток реле – в звезду

Схема соединения трансформаторов тока в треугольник обладает следующими особенностями:

1. Токи в реле проходят при всех видах к.з. и, следовательно, защиты по такой схеме реагируют на все виды к.з.;
2. Отношение тока в реле к фазному току зависит от вида к.з.;

3. Токи нулевой последовательности не выходят за пределы треугольника трансформаторов тока, не имея пути для замыкания через обмотки реле.

Отсюда следует, что при к.з. на землю в реле попадают только токи прямой и обратной последовательностей, т.е. только часть тока к.з.

Описанная выше схема применяется в основном для дифференциальных и дистанционных защит.

Схема соединений с двумя трансформаторами тока и одним реле, включенным на разность токов двух фаз. Трансформаторы тока устанавливаются в двух фазах (например, А и С на рис. 4.5); их вторичные обмотки соединяются разноименными зажимами, к которым (параллельно вторичным обмоткам) подключается обмотка реле.

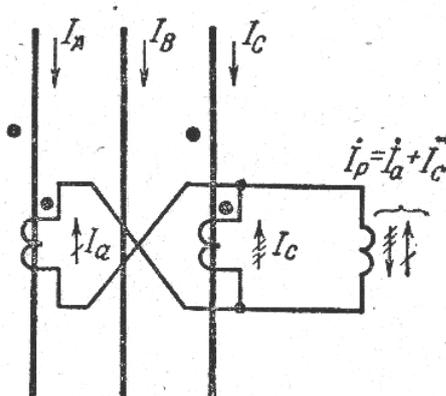


Рис. 4.5. Схема соединения трансформаторов тока на разность токов двух фаз

Схема соединения трансформаторов тока в фильтр токов нулевой последовательности. Трансформаторы тока устанавливаются на трех фазах, одноименные зажимы вторичных обмоток соединяются параллельно и к ним подключается обмотка реле. Из показанного на схеме распределения токов следует, что ток в реле равен геометрической сумме вторичных токов трех фаз. Это значит, что $I_p = 3I_0$, и, следовательно, рассмотренная схема является фильтром токов нулевой последовательности. Ток в реле появляется только при однофазных и двухфазных к.з. на землю, так как только при этих повреждениях появляется I_0 . Поэтому схема применяется для защит от замыканий на землю.

При нагрузках, трехфазных и двухфазных к.з. сумма первичных токов трех фаз равна нулю, соответственно ток $I_0 = 0$ и реле Р не действует. Но из-за

погрешности трансформаторов тока сумма вторичных токов не балансируется и в реле появляется ток небаланса $I_{нб}$, что необходимо учитывать при применении схемы. Рассмотренная схема часто называется трехтрансформаторным фильтром токов I_0 .

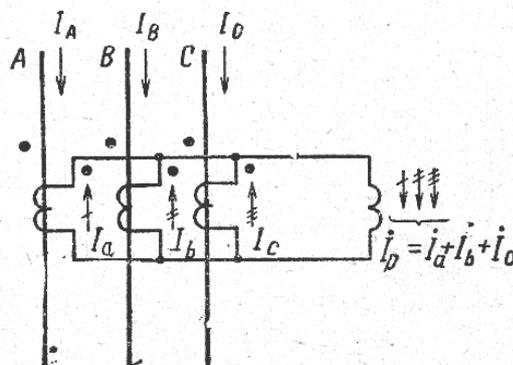


Рис. 4.6. Схема соединения трансформаторов тока и фильтр токов нулевой последовательности

Класс точности трансформаторов тока и напряжения для присоединения расчетных счетчиков электроэнергии должен быть не более 0,5. Допускается использование трансформаторов тока класса точности 1,0 для включения расчетных счетчиков класса точности 2,0. Выбор трансформаторов тока осуществляют согласно условиям, приведенным в табл. 4.1 [1].

Таблица 4.1

Параметры для выбора трансформаторов тока

Параметры	Расчётные величины	Номинальные величины	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение	$U_{\text{сет.ном}}$	$U_{\text{ном}}$	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сет.ном}}$
Номинальный ток (первичный и вторичный)	$I_{\text{ном.рас}}$	$I_{1\text{ном}}$	$I_{1\text{ном}} \geq I_{\text{ном.рас}}$
Номинальный ток электродинамической стойкости	$i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{эд}} \cdot I_{1\text{н}}$	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$
Тепловой импульс КЗ	$i_{\text{уд}}$	$I_i^2 \cdot t = (K_T \cdot I_{1\text{н}})^2 \cdot t_{\text{тер}}$	$I_i^2 \cdot t \geq B_K$
Вторичная нагрузка трансформатора тока	Z_2	$Z_{2\text{ном}}$	$Z_{2\text{ном}} \geq Z_2$

В таблице 4.1 коэффициенты $K_{\text{эд}}$ и K_T – соответственно кратность электродинамической и термической стойкости трансформатора тока по

паспорту; Z_2 – вторичная нагрузка трансформатора тока, $Z_{2НОМ}$ – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

$$Z_{2НОМ} = \frac{S_{НОМ}}{I_{НОМ}^2}.$$

Рассматривается более подробно выбор трансформатора тока по вторичной нагрузке. Индуктивное сопротивление токовых цепей невелико, поэтому $Z_2 \approx r_2$. Сопротивление r_2 равно [1]:

$$r_2 = r_{ПРИБ} + r_{ПП} + r_K, \quad (4.2)$$

где $r_{ПРИБ}$ – сопротивление приборов;

$r_{ПП}$ – сопротивление соединительных проводов;

r_K – переходное сопротивление контактов.

Сопротивление приборов определяется формулой [1]:

$$r_{ПРИБ} = \frac{S_{ПРИБ}}{I_{НОМ}^2}, \quad (4.3)$$

где $S_{ПРИБ}$ – мощность, потребляемая приборами.

Сопротивление контактов принимается 0,05 Ом при двух-трех приборах и 0,1 Ом при большем числе приборов. Сопротивление соединительных проводов выражается из формулы (4.3) [1]:

$$r_{ПП} = r_2 - (r_{ПРИБ} + r_K), \quad (4.4)$$

Зная $r_{ПП}$, определяется сечение соединительных проводов [1]:

$$q = \rho \cdot \frac{l_{РАСЧ}}{r_{ПП}}, \quad (4.5)$$

где ρ – удельное сопротивление материала провода. Провода с медными жилами ($\rho = 0,0175$ Ом·мм²/м) применяются во вторичных цепях оборудования электростанций с агрегатами мощностью 100 МВт и более, а также на подстанциях напряжением 220 кВ и выше. В остальных случаях применяют алюминиевые провода ($\rho = 0,0283$ Ом·мм²/м провода с алюминиевыми жилами);

$l_{РАСЧ}$ – расчетная длина, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока.

В табл. 4.2 приведены значения длины соединительных проводов от трансформаторов тока до приборов в зависимости от цепи, где используется данный трансформатор [1].

Таблица 4.2

Длина соединительных проводов трансформатора тока

Цепь применения трансформатора тока	Расчетная длина $l_{РАСЧ}$, м
Все цепи ГРУ 6-10 кВ, кроме линий к потребителям	40-60
Цепи генераторного напряжения блочных электростанций	20-40
Линии 6-10 кВ к потребителям	4-6
Все цепи РУ: 1) 35 кВ; 2) 110 кВ; 3) 220 кВ; 4) 330-500 кВ.	60-75 75-100 100-150 150-175
Синхронные компенсаторы	25-40

В качестве соединительных проводов используют кабели с различными видами изоляции и оболочки. По условию прочности сечение не должно быть меньше 4 мм^2 для алюминиевых жил и $2,5 \text{ мм}^2$ для медных жил [2].

Перед началом выбора трансформаторов тока составляется таблица контрольно-измерительных приборов, которые необходимо установить в цепях каждого электрического аппарата на электростанции. Данная таблица приведена в [1]. Приводится пример выбора и проверки трансформаторов тока для РУ ВН узловой подстанции. Нагрузка ТТ в цепи линейных выключателей и обходного выключателя приведена в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Приборы в цепи линейного и обходного выключателей

Измерительный прибор	Тип	Нагрузка по фазам, ВА		
		A	B	C
Амперметр	Э-335	0,5	0,5	0,5
Ваттметр	Д-335	0,5	–	0,5
Варметр	Д-335	0,5	–	0,5
Счетчик активной и реактивной энергии	СЭТЗар-01-22-08	0,05	–	0,05
Итого:	–	1,55	0,5	1,55

Принимаются к установке трансформаторы тока марки ТФЗМ 220Б-IV У1 [3]. Согласно формуле (4.3) сопротивление приборов равно:

$$r_{\text{приб}} = \frac{1,55}{5^2} = 0,06 \text{ Ом.}$$

Сопротивление соединительных проводов:

$$r_{\text{пр}} = 1,2 - 0,06 - 0,1 = 1,04 \text{ Ом.}$$

Согласно табл. 4.2, для цепей РУ 220 кВ применяется кабель с медными жилами, ориентировочная длина которого 100 м. Сечение соединительных проводов определяются по формуле (4.5):

$$q = \frac{0,0175 \cdot 100}{1,04} = 1,68 \text{ мм}^2.$$

Принимается стандартное сечение $q = 2,5 \text{ мм}^2$ и уточняется вторичная нагрузка трансформатора тока:

$$r_{\text{пр}} = \frac{0,0175 \cdot 100}{2,5} = 0,7 \text{ Ом;}$$

$$r_2 = 0,06 + 0,7 + 0,1 = 0,86 \text{ Ом.}$$

Сравнение расчетных и каталожных данных приведено в табл. 4.5. Также в качестве примера приводится выбор и проверка трансформаторов тока для цепей секционного выключателя и силового трансформатора. Нагрузка для данных цепей приведена в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Приборы в цепи секционного выключателя и силового трансформатора

Измерительный прибор	Тип	Нагрузка по фазам, ВА		
		A	B	C
Амперметр	Э-335	0,5	0,5	0,5
Итого:	–	0,5	0,5	0,5

Принимаются к установке трансформаторы тока марки ТФЗМ 220Б-IV У1 [3]. Сравнение расчетных и каталожных данных приведено в табл. 4.5.

Сравнение расчетных и каталожных данных при выборе ТТ в цепи ВН

Параметры	Расчётные величины	Номинальные величины	Условия для выбора и проверки
Номинальное напряжение	$U_{СЕТ.НОМ} = 220$ кВ	$U_{НОМ} = 220$ кВ	$U_{НОМ} \geq U_{СЕТ.НОМ}$
Номинальный ток (первичный и вторичный)	$I_{НОМ.РАС} = 433$ А	$I_{1НОМ} = 500$ А	$I_{1НОМ} \geq I_{НОМ.РАС}$
Номинальный ток электродинамической стойкости	$i_{уд} = 4,6$ кА	$i_{ДИН} = 25$ кА	$i_{ДИН} \geq i_{уд}$
Тепловой импульс КЗ	$B_K = 1,92$ (кА) ² ·с	$I_t^2 \cdot t = 288,1$ (кА) ² ·с	$I_t^2 \cdot t \geq B_K$
Вторичная нагрузка трансформатора тока	$r_2 = 0,86$ Ом $r'_2 = 0,77$ Ом	$r_{2НОМ} = 1,2$ Ом	$r_{2НОМ} \geq r_2$

Как видно, трансформаторы тока успешно прошел проверку по всем условиям, и могут быть окончательно приняты к установке. Трансформаторы тока отечественного производства приведены в [3, 4, 7], зарубежного производства [5–7].

Порядок выполнения работы (теоретическая часть)

1. Выбрать тип ТТ и расчетные данные в соответствии с вариантом задания (номером по журналу) в соответствии с таблицами 4.6 и 4.7.
2. Предоставить общие сведения о выбранном аппарате, информацию о назначении, условиях работы.
3. Расшифровать условное обозначение ТТ.
4. В табличном виде предоставить информацию об основных технических параметрах ТТ.
5. Схематично изобразить общий вид ТТ с обозначением основных элементов и габаритными размерами.
6. Описать принцип и особенности работы аппарата.
7. Указать зависимость погрешности измерений от различных факторов.
8. Представить электрические схемы первичных и вторичных обмоток ТТ.
9. Описать схемы включения ТТ.

10. Изложить достоинства и недостатки выбранного ТТ, область применения.

11. Сделать вывод по проделанной работе.

12. Предоставить список литературы, использованной в процессе выполнения лабораторной работы.

Таблица 4.6

Марки измерительных трансформаторов тока

Номер по журналу										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип (марка) измерительного трансформатора тока	ТВ-35	ТПОЛ-10	GIS 12	IMB 245 (ABB)	TG-145 (ABB)	ТГФ-500	ТОЛ-35	TG-170 (ABB)	ТПЛК-10	ТОЛ-10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Тип (марка) измерительного трансформатора тока	ТФМ 35-500	ТВ-110	ТОЛК-10	ТПЛ-10	ТЛК-35	ТПЛ-35	ТГФ-110	IMB 145 (ABB)	TG-245 (ABB)	ТФЗМ 220

Таблица 4.7

Расчетные значения

Параметры	Номер варианта по журналу									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный ток $I_{НОМ.РАС}$, А	908	674	1925	1207	1317	1666	1846	663	1168	967
Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ в начальный момент времени $I_{п.о}$, кА	29	24	6	19	27	2	3	21	15	8
Постоянная времени переходного процесса T_a , с	0,1	0,01	0,09	0,09	0,03	0,02	0,02	0,02	0,05	0,08

Параметры	Номер варианта по журналу									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номинальный ток $I_{НОМ.РАС}$, А	1330	1089	987	631	497	775	1427	364	1991	1712
Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ в начальный момент времени $I_{п.о}$, кА	25	12	10	23	9	6	17	14	7	23
Постоянная времени переходного процесса T_a , с	0,03	0,07	0,09	0,07	0,05	0,1	0,03	0,03	0,1	0,02
Параметры	Номер варианта по журналу									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номинальный ток $I_{НОМ.РАС}$, А	1381	1173	1130	1444	425	623	955	624	744	795
Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ в начальный момент времени $I_{п.о}$, кА	25	30	10	23	19	16	24	18	22	12
Постоянная времени переходного процесса T_a , с	0,04	0,06	0,02	0,09	0,07	0,07	0,02	0,05	0,05	0,08

Примечание: Номинальное напряжение сети (класс напряжения) принять в соответствие с номинальным напряжением трансформатора тока; время срабатывания релейной защиты принять равным $t_{р.з} = 2$ с; значение ударного коэффициента принять равным $K_{уд} = 1,8$.

Порядок выполнения работы (практическая часть)

(18 переминок)

Подробно ознакомиться со схемами соединения вторичных обмоток трансформаторов тока, используемых в устройствах релейной защиты и автоматики. Определить значения коэффициентов схемы для каждой их исследуемых схем. Исследовать схемы включения вторичных обмоток трансформаторов тока, представленные на рисунках 4.7–4.9 в соответствии с порядком выполнения работы. Результаты измерений и результаты расчетов занести в таблицу 4.8.

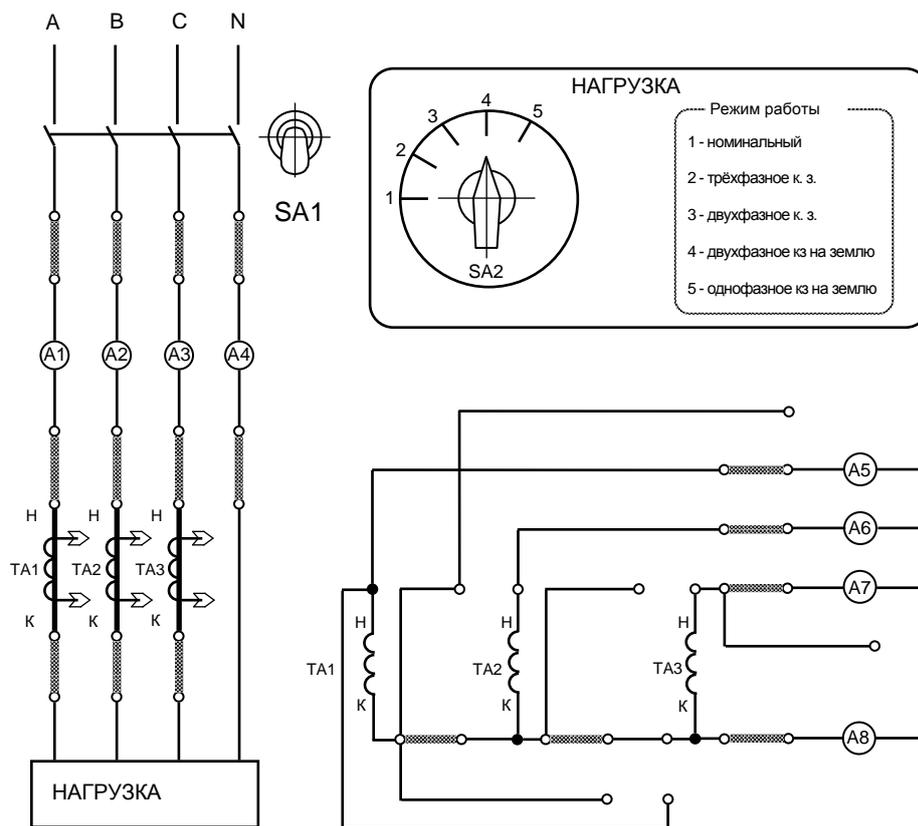


Рис. 4.7

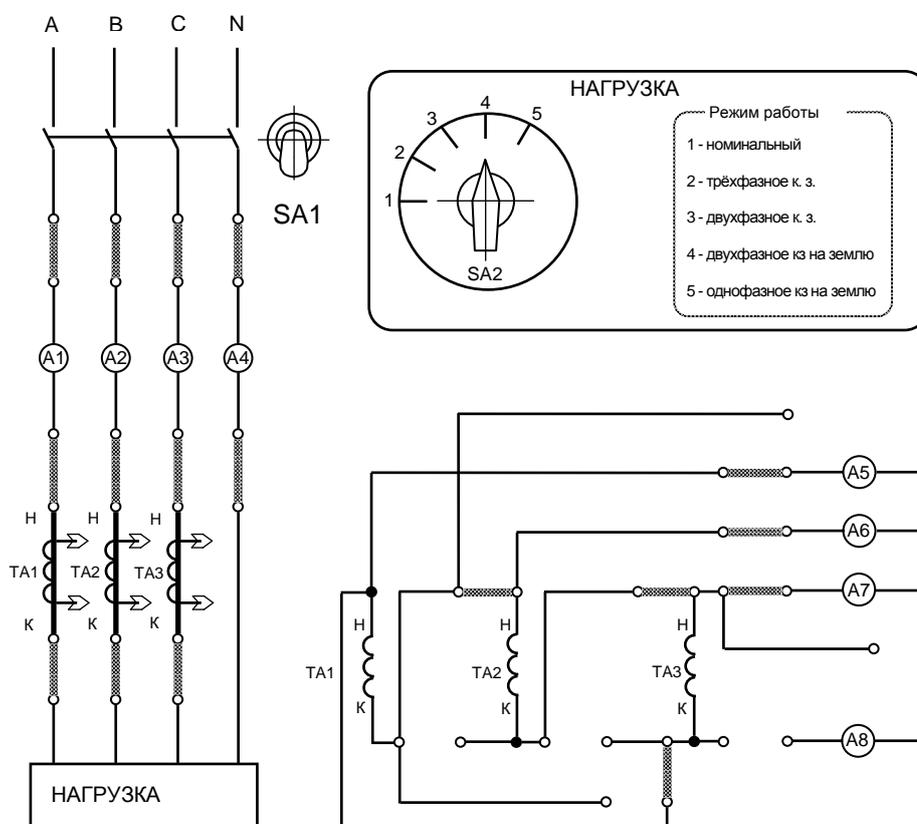


Рис. 4.8

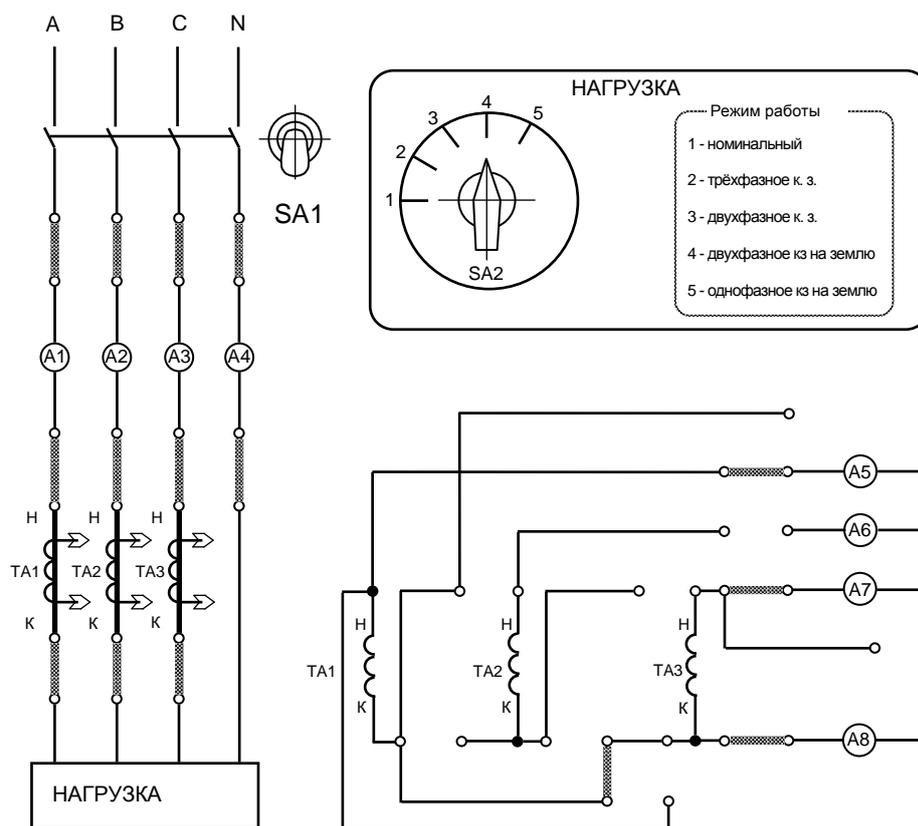


Рис. 4.9

1. Убедиться, что все выключатели стенда выключены (находятся в нижнем положении), а переключатель SA2 «Нагрузка» установлен в положение «1» (Номинальный режим).

2. Собрать схему рис. 4.7.

3. Определить цену деления приборов A1 ÷ A8.

Внимание! Предел измерения приборов A1 ÷ A4 равен 100 мА, а предел измерения A5 ÷ A8 равен 1 мА.

4. С разрешения преподавателя включить тумблеры «Сеть» и SA1. Снять показания приборов и записать в таблицу 4.8.

5. Выключить SA1. Отсоединить прибор A2 и вместо него подсоединить выносной миллиамперметр электромагнитной системы с пределом измерения 300 мА.

6. Включить SA1. Переключатель SA2 установить в положение «2» (трехфазное к.з.). Снять показания приборов и записать в таблицу 4.8.

7. Выключить SA1. Отсоединить выносной миллиамперметр на 300 мА и подсоединить прибор А2 стенда.

8. Переключатель SA2 установить в положение «3» (двухфазное к.з.). Включить SA1. Снять показания приборов и записать в таблицу 4.8.

9. Переключатель SA2 установить в положение «4» (двухфазное к.з. на землю). Снять показания приборов и записать в таблицу 4.8.

10. Переключатель SA2 установить в положение «5» (однофазное к.з. на землю). Снять показания приборов и записать в таблицу 4.8.

11. Выключить SA1. Переключатель SA2 установить в положение «1».

12. Собрать схему рисунок 4.8.

13. С разрешения преподаватель включить SA1 и провести измерения по пунктам 4-11.

Внимание! Для измерений в положении «2» переключателя SA2 (трехфазное к.з.) вместо прибора А2 подсоединять выносной миллиамперметр электромагнитной системы на 300 мА.

14. Собрать схему рисунок 4.9.

15. С разрешения преподаватель включить SA1 и провести измерения по пунктам 4-11.

16. Докладить преподавателю о выполнении работы.

17. Разобрать схему и сдать рабочее место преподавателю.

18. По данным измерений рассчитать коэффициент трансформации K_{TA} трансформаторов тока ТА1, ТА2, ТА3 и для каждой схемы определить величину K_{CX} , соответствующую определенному виду короткого замыкания.

19. Определить чувствительность токовой защиты при различных видах ее выполнения и различных видах коротких замыканий.

Сделать выводы по работе.

Таблица 4.8

Режим работы	Показания приборов												
	В первичных цепях				Во вторичных цепях								
Рис. 4.7	I_A	I_B	I_C	I_0	I_a	K_{TA1}	I_b	K_{TA2}	I_c	K_{TA3}	I_0	K_{CX}	$K_{ч}$
Номинальный													
Трёхфазное к.з.													
Двухфазное к.з.													
Двухфазное к.з. на землю													
Однофазное к.з. на землю													
Рис. 4.8	I_A	I_B	I_C	I_0	I_a	K_{TA1}	I_b	K_{TA2}	I_c	K_{TA3}	I_0	K_{CX}	$K_{ч}$
Номинальный													
Трёхфазное к.з.													
Двухфазное к.з.													
Двухфазное к.з. на землю													
Однофазное к.з. на землю													
Рис. 4.9	I_A	I_B	I_C	I_0	I_a	K_{TA1}	I_b	K_{TA2}	I_c	K_{TA3}	I_0	K_{CX}	$K_{ч}$
Номинальный													
Трёхфазное к.з.													
Двухфазное к.з.													
Двухфазное к.з. на землю													
Однофазное к.з. на землю													

РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ

Коэффициент схемы:

$$K_{CX} = I_P / I_{2TA},$$

где I_P – ток в реле,

I_{2TA} – ток во вторичной обмотке трансформатора тока.

Для максимальных токовых защит выбор тока срабатывания реле производится по выражению:

$$I_{ср} = (K_H \cdot I_{Hmax} \cdot K_{CX}) / (K_B \cdot K_{TA}),$$

где $K_H = 1,1 \dots 1,2$ – коэффициент надёжности, учитывающий погрешность реле и переходные режимы;

$K_B = 0,8...0,85$ – коэффициент возврата реле учитывающий его конструктивные особенности;

K_{TA} – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Эффективность каждой схемы определяется коэффициентом чувствительности, представляющим собой отношение тока при коротком замыкании попадающего в обмотку реле к току срабатывания.

$$K_{\chi} = I_p / I_{cp}$$

При расчетах принять $I_{Hmax} = 150$ мА.

Структура отчета

Отчет выполненной лабораторной работы должен содержать следующие обязательные разделы:

- Содержание.
- Введение (цель работы и постановка задачи).
- Общие сведения, назначение, условия работы;
- Конструкция ТТ (схематично): общий вид с указанием основных элементов;
- Электрические схемы первичных и вторичных обмоток ТТ;
- Схемы включения ТТ для измерения заданной величины, для включения в цепи РЗиА (теория);
 - Основные технические параметры (в форме таблицы) с указанием диапазона значений для заданного типа ТТ;
 - Расшифровка условного обозначения заданного ТТ;
 - Отличительные особенности заданного ТТ по сравнению с другими;
 - Область применения ТТ;
 - Расчетные параметры, проверка условий выбора и проверки ТТ (в табличном виде);
- Схемы соединения вторичных обмоток трансформаторов тока, используемых в устройствах релейной защиты и автоматики (лабораторные);

- Таблица с измерениями и расчетами.
- Заключение (выводы по работе).
- Библиографический список (ГОСТ Р 7.0.5-2008).

Библиографический список выполняется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 СИБИД. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

Контрольные вопросы

1. Что такое измерительные трансформаторы тока? Для чего они предназначены?
2. Из каких основных элементов состоят ТТ?
3. Как различаются конструкции ТТ с точки зрения исполнения их изоляции?
4. Каковы особенности каскадных ТТ? Для чего их используют?
5. Какова конструкция ТТ, предназначенных для земляной защиты? В чем заключается особенность их работы?
6. Что такое номинальная нагрузка ТТ?
7. Что понимается под токовой погрешностью и как ее определить из векторной диаграммы трансформатора тока?
8. Что представляет собой угловая погрешность и как ее определить из векторной диаграммы трансформатора тока?
9. Что понимается под полной погрешностью трансформатора тока?
10. Как влияет величина первичного тока на погрешности трансформатора тока?
11. Что такое витковая коррекция и как она осуществляется?
12. Назовите способы уменьшения погрешностей трансформатора тока и проанализируйте их.
13. На какие классы точности изготавливаются ТТ? Для каких целей они применяются?

14. Для измерения каких параметров электрической энергии используют ТТ?
15. Каковы схемы включения ТТ?
16. Почему вторичные обмотки ТТ обязательно должны быть заземлены?
17. Для чего и как проводится проверка правильности маркировки выводов ТТ?
18. Как выявить витковое замыкание у трансформатора тока?
19. Почему не разрешается размыкать вторичную обмотку ТТ при протекании тока в первичной цепи? Как заменить измерительный прибор или реле во вторичной обмотке ТТ?
20. На какие номинальные первичные токи выполняются одновитковые ТТ?
21. Почему в цепях с меньшими токами применяются многовитковые ТТ?
22. Каковы преимущества и недостатки встроенных ТТ?
23. Каким образом можно изменять коэффициент трансформации у ТТ типа ТФЗМ, ТВТ, ТВ?
24. Как влияют номинальные параметры на конструктивное исполнение ТТ?

Библиографический список

1. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л. Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.
2. Правила устройства электроустановок [Текст]: все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2016 года. – Москва: КНОРУС, 2016. – 488 с.
3. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: [учебное пособие] / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – 5-е изд., стер. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 608 с.

4. «Электрощит Самара». Измерительные трансформаторы [Электронный ресурс]. URL: <https://electroshield.ru/catalog/transformatory-izmeritelnie/> (22.06.2017).

5. Каталог высоковольтного оборудования [Электронный ресурс]: каталог. – «CHINT Electric», 2015. – 203 с. URL: <https://chint-electric.ru/vysokovoltnye-izdeliya/vyklyuchateli> (22.06.2017).

6. Высоковольтные элегазовые трансформаторы тока 35-750 кВ [Электронный ресурс]: каталог. –«ABB», 2013. – 8 с. URL: http://svetilnici.ielectro.ru/Document76705.html?fn_tab2doc=1479 (22.06.2017).

7. Новое электрооборудование в системах электроснабжения: справочник. Сост.: Ополева Г.Н. Иркутск: Изд-во Иркутского государственного университета, 2003. – 194 с.