

ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация

1 Теоретические сведения

1.1. Трансформатор тока как измерительный электроаппарат.

1.2. Векторная диаграмма ТТ.

1.3. Метрологические характеристики ТТ для релейной защиты.

1.4. Проверки трансформаторов тока.

2 Виртуальная лабораторная установка.

3 Методические указания к выполнению лабораторной работы.

4 Шаблон отчета.

5 Вопросы для самоконтроля.

6 Глоссарий.

7 Интернет-ресурсы.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Трансформатор тока как измерительный электроаппарат

Устройство и принцип действия трансформатора тока

Простейший и самый распространенный трансформатор тока (ТТ) — двухобмоточный. Он имеет одну первичную обмотку с числом витков w_1 и одну вторичную обмотку с числом витков w_2 . Обмотки находятся на общем магнитопроводе, благодаря которому между ними существует электромагнитная (индуктивная) связь.

Первичная обмотка, изолированная от вторичной обмотки на полное рабочее напряжение аппарата, включается последовательно в рассечку цепи контролируемого первичного тока, а вторичная обмотка замыкается на нагрузку (измерительные приборы и реле), обеспечивая в ней протекание вторичного тока, практически пропорционального переменному первичному току. Чем меньше полное сопротивление нагрузки z_n и полное сопротивление вторичной обмотки z_{T2} , тем точнее соблюдается пропорциональность между первичным и вторичным токами, т.е. тем меньше погрешности ТТ. Идеальный режим работы ТТ — это режим КЗ вторичной обмотки, тогда как для ТН идеальным является режим ХХ.

Один вывод вторичной обмотки обычно заземляется, поэтому он имеет потенциал, близкий к потенциалу контура заземления электроустановки.

Трансформаторы тока для защиты предназначены для передачи измерительной информации о первичных токах в устройства защиты и автоматики. При этом они обеспечивают:

- 1) масштабное преобразование переменного тока различной силы в переменный вторичный ток приемлемой силы для питания устройств релейной защиты;

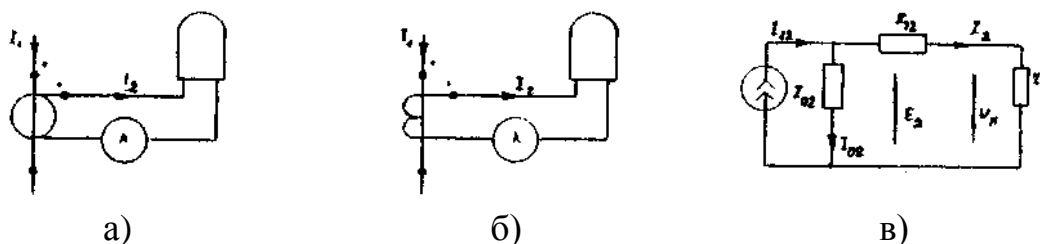
- 2) изолирование вторичных цепей и реле, к которым имеет доступ обслуживающий персонал, от цепей высокого напряжения. Аналогичные функции выполняют и ТТ для измерений, предназначенные для передачи информации измерительным приборам.

Между ТТ для защиты и для измерений нет принципиальной разницы. Существующие различия заключаются в неодинаковых требованиях к точности и к диапазонам первичного тока, в которых погрешности ТТ не должны превышать допустимых значений. К ТТ для измерений предъявляется требование ограничения сверху действующего

значения вторичного тока при протекании тока КЗ по первичной обмотке, для них устанавливается номинальный коэффициент безопасности приборов. Это требование не предъявляется к ТТ для защиты, которые должны обеспечивать необходимую точность трансформации тока и при КЗ. Номинальный коэффициент безопасности фактически является верхним пределом для номинальной предельной кратности ТТ для измерений.

При анализе явлений в ТТ необходимо учитывать положительные направления первичного и вторичного токов в соответствующих обмотках, а также ЭДС, индуцируемой во вторичной обмотке, от которых зависят знаки (плюс или минус) в формулах и углы векторов на векторных диаграммах.

В технике релейной защиты приняты положительные направления для токов и ЭДС, показанные на рисунке 1. Звездочками отмечены однополярные зажимы обмоток, например их начала, которые по ГОСТ обозначаются символами Л1 у первичной обмотки и И1 у вторичной обмотки.



а, б — схемы условных обозначении; в — схема замещения

Рисунок 1 - Схемы ТТ

Приняты положительными: направление для первичного тока от начала к концу первичной обмотки и направление для вторичного тока от начала вторичной обмотки (по внешней цепи нагрузки) к концу вторичной обмотки, соответственно этому внутри вторичной обмотки - направление вторичного тока и вторичной ЭДС (от конца к началу обмотки).

При указанных положительных направлениях векторы первичного и вторичного токов совпадают по фазе при отсутствии угловой погрешности, а мгновенная вторичная ЭДС равна взятой со знаком "плюс" первой производной по времени от потокосцепления вторичной обмотки.

По причине существенной нелинейности характеристики намагничивания ферромагнитного магнитопровода к анализу явлений в ТТ неприменим принцип наложения (суперпозиции). Даже при номинальном первичном токе и номинальной нагрузке индукция в магнитопроводе не равна разности индукций, которые были бы созданы отдельно взятыми первичным и вторичным токами. Результирующий магнитный поток в магнитопроводе ТТ определяется только совместным одновременным действием первичного и вторичного токов и даже гипотетически не может корректно рассматриваться как разность потоков, раздельно созданных первичным и вторичным токами.

Классификация ТТ

По ГОСТ 7746-89 ТТ подразделяются по следующим основным признакам:

— по роду установки:

для работы на открытом воздухе (категория размещения 1 по ГОСТ 15150-69);

для работы в закрытых помещениях (категории размещения 3 и 4 по ГОСТ 15150-69);

для работы в подземных установках (категория размещения 5 по ГОСТ 15150-69);

для работы внутри оболочек электрооборудования (категории размещения в соответствии с таблицей ГОСТ);

Характеристика среды внутри оболочки	Категория размещения трансформаторов тока, устанавливаемых внутри оболочек электрооборудования, по ГОСТ 15150-69, при разных категориях самого электрооборудования по тому же ГОСТ			
	Категория 1	Категория 2	Категория 3	Категория 4
1. Газовая среда, изолированная от наружного воздуха, или жидкая среда	4	4	4	4
2. Газовая среда, не изолированная от наружного воздуха	2	2	3	4

— **по принципу конструкции:** опорные (О), проходные (П), шинные (Ш), встроенные (В), разъемные (Р). Допускается по ГОСТ 7746-89 сочетание нескольких перечисленных принципов, а также конструктивное исполнение, не подпадающее под перечисленные признаки;

— **по виду изоляции:** с литой изоляцией (Л), с фарфоровой крышкой (Ф), с твердой изоляцией (кроме фарфоровой и литой) (Т), маслонаполненные (М), газонаполненные (Г);

— **по числу ступеней трансформации:** одноступенчатые и каскадные;

— **по числу магнитопроводов со вторичными обмотками,** называемых кернами, объединенных общей первичной обмоткой: с одним керном, с несколькими кернами;

— **по назначению кернов:** для измерения, для защиты, для измерения и защиты, для работы с нормированной точностью в переходных режимах;

— **по числу коэффициентов трансформации:** с одним коэффициентом трансформации; с несколькими коэффициентами трансформации, получаемыми путем изменения числа витков первичной или(и) вторичной обмоток, а также путем применения вторичных обмоток с отпайками.

Основные (номинальные) параметры ТТ

По ГОСТ 7746-89 к номинальным параметрам ТТ относятся:

— номинальное напряжение ТТ $U_{ном}$ — номинальное напряжение цепей, для которых предназначен данный аппарат. Встроенные ТТ не имеют паспортного параметра номинального напряжения;

— номинальный первичный ток ТТ $I_{1ном}$;

— номинальный вторичный ток ТТ $I_{2ном}$;

— номинальный коэффициент трансформации ТТ;

— номинальная вторичная нагрузка с номинальным коэффициентом мощности $\cos\varphi$ (1 или 0,8 индуктивный). Обозначается $Z_{н.ном}$ (сопротивление нагрузки) или $S_{н.ном}$ (номинальная мощность нагрузки);

— номинальный класс точности ТТ (керна для ТТ с несколькими кернами);

— номинальная предельная кратность ТТ, обслуживающего релейную защиту - $K_{10ном}, K_{5ном}$;

— номинальный коэффициент безопасности для приборов - $K_{\delta ном}$;

падения напряжения от тока I_2 в активном и индуктивном сопротивлениях нагрузки z_H . Электродвижущая сила вторичной обмотки \bar{E}_2 равна

$$\bar{E}_2 = \bar{U}_2 + \bar{I}_2 z_{m2},$$

где \bar{U}_2 — напряжение на зажимах вторичной обмотки ТТ;

z_{m2} — полное сопротивление вторичной обмотки.

Согласно выражению (16) и построен вектор ЭДС \bar{E}_2 на диаграмме. Вектор рабочего магнитного потока $\bar{\Phi}$ отстает на 90° от вектора вторичной ЭДС \bar{E}_2 , наведенной этим магнитным потоком. Вектор намагничивающего тока \bar{I}_{02} опережает вектор рабочего магнитного потока $\bar{\Phi}$ на угол γ , обусловленный активными потерями в стали магнитопровода. Угол γ может быть получен из экспериментальных кривых:

$$\gamma = f(B_m),$$

где B_m — амплитуда магнитной индукции.

Вектор приведенного первичного тока \bar{I}_{12} построен на диаграмме как сумма векторов вторичного \bar{I}_2 и намагничивающего тока \bar{I}_{02} :

$$\bar{I}_{12} = \bar{I}_2 + \bar{I}_{02}.$$

Токам I_1 и I_2 соответствуют МДС первичной и вторичной обмоток; МДС первичной обмотки $F_1 = I_1 w_1$, лишь частично уравновешивается МДС вторичной обмотки $F_2 = I_2 w_2$, в результате чего в магнитопроводе создается рабочий магнитный поток с амплитудой $\Phi_m = B_m Q$, приближенно соответствующий току I_{02} по характеристике намагничивания сердечника:

$$B_m = f(H),$$

где H — действующее значение напряженности магнитного поля:

$$H = \frac{I_{02} w_2}{l}$$

Такая векторная диаграмма верна лишь при принятых на схемах рисунка 1, а и б положительных направлениях токов и ЭДС. Если на этих схемах для одного из токов принять за положительное противоположное направление, то при отсутствии погрешностей токи I_2 и I_{12} должны быть показаны двумя одинаковыми по модулю векторами, сдвинутыми на 180° . Физический смысл явления, отражаемого этим формальным правилом, заключается в том, что вторичный ток размагничивает магнитопровод, намагничиваемый первичным током.

1.3 Метрологические характеристики трансформаторов тока для релейной защиты

В ГОСТ 7746-89 регламентированы три вида погрешностей ТТ — токовая, угловая и полная. Все они служат количественными характеристиками отличий вторичного тока ТТ (конечно, умноженного на номинальный коэффициент трансформации $n_{т ном}$), от первичного. Стандарт регламентирует погрешности только в установившемся режиме и только при синусоидальном первичном токе.

Определения понятий этих погрешностей даны в ГОСТ 18685-73 (основаны на номинальном коэффициенте трансформации).

Токовая погрешность. Токовая погрешность характеризует относительное различие действующих значений токов, выражается в процентах и определяется по формуле

$$f_m = \frac{I_2 n_{т ном} - I_1}{I_1} 100 = \frac{I_2 - I_1 / n_{т ном}}{I_1 / n_{т ном}} 100,$$

где I_1 и I_2 — действующие значения соответственно первичного и вторичного токов.

Угловая погрешность. Угловая погрешность определяется как угол δ между вектором первичного тока и вектором первой гармоники вторичного тока (см. рисунок 2). Она выражается в градусах (минутах) или радианах (сантираданах) и считается положительной, когда вектор вторичного тока опережает вектор первичного тока. Пользуясь методом эквивалентных синусоид и векторной диаграммой, угловая погрешность δ может быть вычислена через значения угла потерь в стали γ , угла φ_2 между векторами вторичной ЭДС E_2 и вторичного тока I_2 , а также через отношение модулей векторов намагничивающего и первичного токов, приведенных к числу витков вторичной обмотки $\frac{I_{02}}{I_{12}}$:

$$\sin \delta = \frac{I_{02}}{I_{12}} \cos(\varphi_2 + \gamma).$$

Полная погрешность. Полная погрешность ε , выраженная в процентах, определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_2 n_{т ном} - i_1)^2 dt},$$

где I_1 — действующее значение первичного тока; i_2 и i_1 — мгновенные значения вторичного и первичного токов; T — длительность периода тока; t — текущее время.

Величина

$$(i_2 n_{\text{нном}} - i_1) = i_{\varepsilon 1}$$

называется первичным мгновенным током полной погрешности.

Аналогично определяется вторичный мгновенный ток полной погрешности

$$\left(\frac{i_2 - i_1}{n_{\text{нном}}} \right) = i_{\varepsilon 2}.$$

Полная погрешность может быть выражена через $i_{\varepsilon 2}$:

$$\varepsilon = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left(i_2 - \frac{i_1}{n_{\text{нном}}} \right)^2 dt} = \frac{I_{\varepsilon 2} n_{\text{нном}}}{I_1} \cdot 100,$$

где $I_{\varepsilon 2}$ — действующее значение тока $i_{\varepsilon 2}$.

Номинальная вторичная нагрузка. Номинальная вторичная нагрузка ТТ представляет собой значение нагрузки на зажимах вторичной обмотки, указанное на паспортной табличке ТТ. Номинальная вторичная нагрузка выражается в омах ($z_{\text{н ном}}$) или в вольт-амперах ($S_{\text{н ном}}$) при номинальном вторичном токе ($S_{\text{н ном}} = I_{2\text{ ном}}^2 z_{\text{н ном}}$). Значение номинальной вторичной нагрузки устанавливается заводом-изготовителем, и на нем основываются требования к точности ТТ, регламентируемые классами точности как для измерений, так и для защиты. При расчетах релейной защиты желательно учитывать сопротивление реле в режиме их срабатывания, причем по максимальному значению, т.е. независимо от того, вырастает ли сопротивление реле при срабатывании или падает, учитывать нужно большее значение.

1.4 Проверки трансформаторов тока

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

- а) подбор документации и ознакомление с ней;
- б) внешний осмотр ТТ и их цепей;
- в) предварительная проверка вторичных цепей прозвонкой;
- г) проверка сопротивления и электрической прочности изоляции вторичных обмоток ТТ и их вторичных цепей;
- д) определение полярности выводов первичной и вторичной обмоток;
- е) снятие ВАХ;
- ж) проверка омических сопротивлений вторичных обмоток ТТ;
- з) проверка установленных коэффициентов трансформации ТТ;

- и) проверка установленных ответвлений обмоток ТТ;
- к) определение сопротивления вторичной нагрузки ТТ;
- л) проверка переходных омических сопротивлений обмоток ТТ с переключением первичных обмоток для ТТ на 110 кВ и выше (выполняется службой ремонтов);
- м) проверка правильности сборки вторичных обмоток и цепей нагрузки ТТ;
- н) экспериментальная проверка погрешностей ТТ;
- о) учет погрешности ТТ при настройке уставок защиты;
- п) оформление результатов проверки.

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

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

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

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

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

Определение однополярных выводов первичной и вторичной обмоток

Принципиальная схема для определения однополярных выводов приведена на рисунке 3.

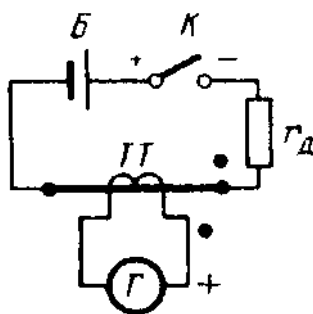


Рисунок 3 — Схема определения однополярных выводов обмоток

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_0 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.

Проверка полярности основана на известном законе самоиндукции, который гласит: всякая индуктивность электрически инерционна, т.е. она препятствует быстрому изменению величины своего магнитного поля со стороны внешней ЭДС, создавая собственную противоЭДС обратного действия по отношению к внешней ЭДС.

Практически же 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.

При определении однополярных выводов ТТ, встроенных во вводы выключателя, батарея должна присоединяться к штырям втулок одной и той же фазы включенного выключателя (рисунок 10).

У встроенных ТТ, устанавливаемых на место на заводе-изготовителе (например, в выключатели ВМ-35), определение однополярных выводов производится только при сомнении в

правильности заводских обозначений, после снятия ТТ (например, для сушки) и в других аналогичных случаях.

Снятие вольт-амперной характеристики

Вольт-амперная характеристика является основной при оценке исправности ТТ. Используются такие характеристики и для определения погрешностей ТТ.

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

Наиболее распространенная неисправность ТТ — витковое замыкание — выявляется по резкому снижению ВАХ и изменению ее крутизны. 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 заводского разброса.

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.

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

Проверка установленных коэффициентов трансформации ТТ

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.

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.

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 4.

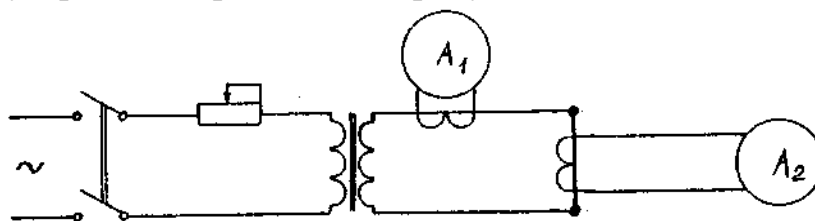


Рисунок 4 - Схема проверки коэффициента трансформации

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

$$n_m = \frac{I_1}{I_2}.$$

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 РД 153-34.0-35.301-2002. ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОВЕРКЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СХЕМАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ИЗМЕРЕНИЯ.

2. ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

Лабораторная работа проводится на стенде № 3. Лицевая панель стенда приведена на рис. 1. В схеме стенда предусмотрены:

– светодиодный индикатор с номером стенда № 3, который указывает наличие/отсутствие напряжения на входном трехфазном автомате QF ;

– источник постоянного тока для определения однополярных зажимов обмоток $ТТ2$ с помощью амперметра индикаторного типа $РА3$. Источник выполнен по мостовой схеме выпрямления, включенный через понизительный трансформатор $TV2$, который включается однофазным автоматом $QF1$;

– для снятия вольтамперной характеристики трансформатора тока $ТТ1$ (амперметр $РА2$ и внешний вольтметр), определения его погрешности и питания нагрузочного трансформатора $ТА$ с регулировкой тока нагрузки (амперметр $РА1$) в опытах по определению коэффициента трансформации трансформаторов тока – $K_{ТТ}$ используется автотрансформатор $TV1$ и одноэлементный автомат $QF2$.

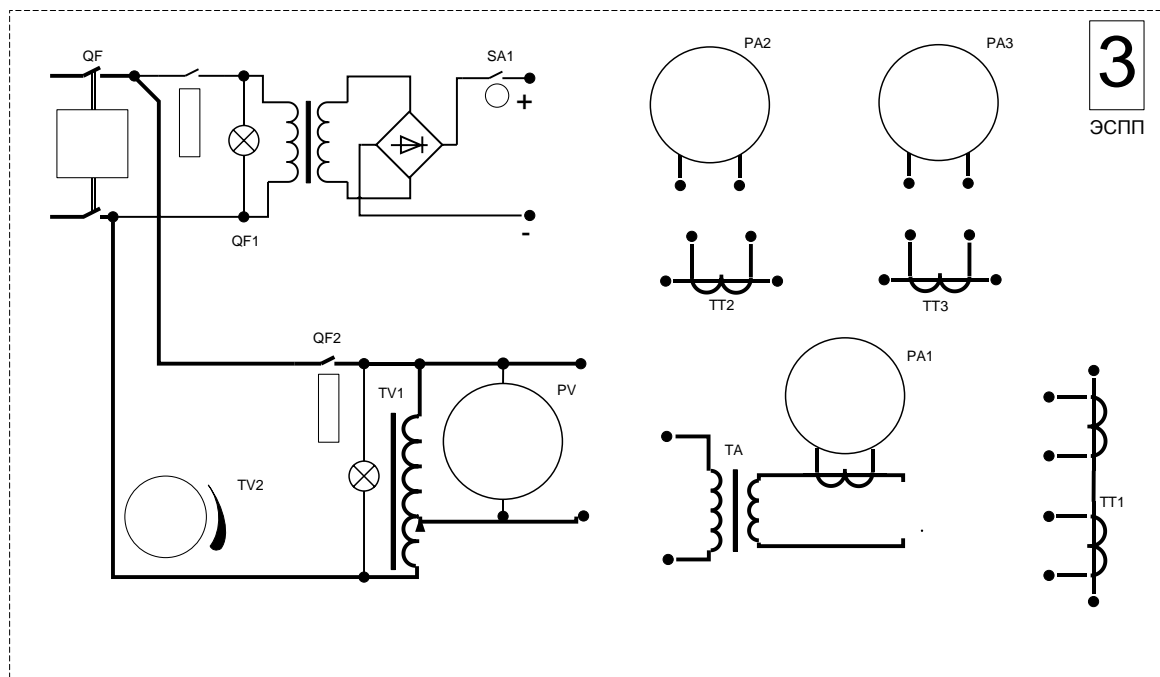


Рис. 1. Передняя панель стенда № 3

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Задание:

1. Определить опытным путем однополярные зажимы обмоток трансформатора тока.
2. Определить коэффициент трансформации трансформатора тока.
3. Определить токовую погрешность трансформатора тока.
4. Снять вторичные вольтамперные характеристики и определить исправность вторичных обмоток трансформатора тока.

Порядок выполнения задания

Задание 1. Определение однополярных зажимов первичной и вторичной обмоток ТТ2 производится по схеме рис. 1 после подключения ее к сети переменного тока $U = 220$ В автоматом $QF1$.

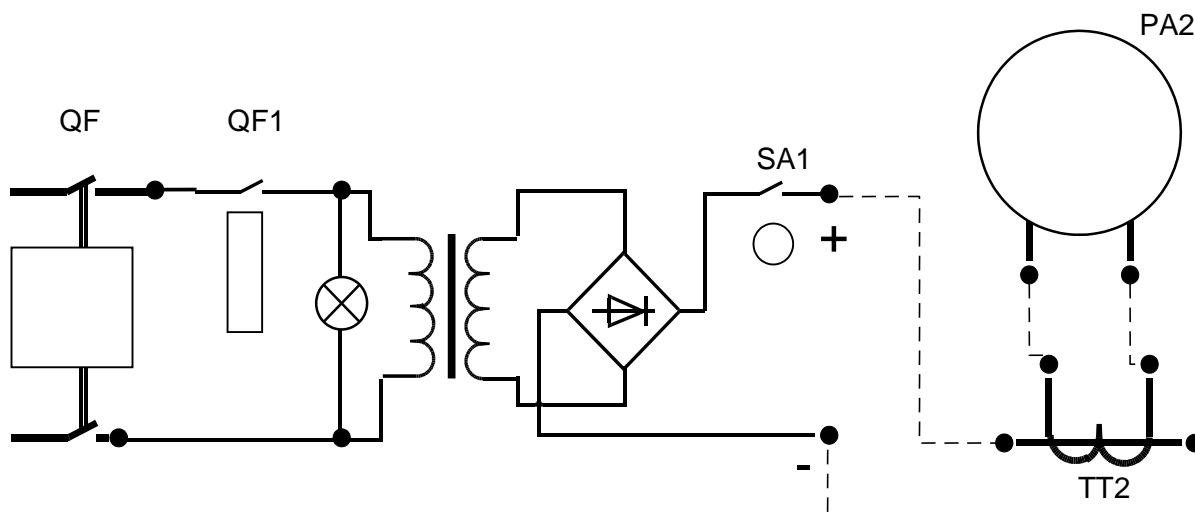


Рис. 1. Схема определения однополярных зажимов трансформатора тока ТТ2

Зная, что положительному направлению тока в первичной цепи (от зажима «+» L_1 к зажиму «-» L_2) соответствует направление тока во вторичной обмотке от конца - зажим I_2 к началу (зажим I_1) можно по

направлению отклонения стрелки амперметра (РА3) определить однополярные выводы обмоток ТТ2.

Направление отклонения стрелки амперметра (М4200) фиксируется в момент замыкания тумблера SA1, когда вследствие переходного процесса во вторичной цепи ТТ2 по правилу Ленца индуцируется ток. Пунктиром показаны необходимые электрические соединения выполняемые студентами.

Задание 2. Определение коэффициента трансформации трансформатора тока производится по схеме рис. 2.

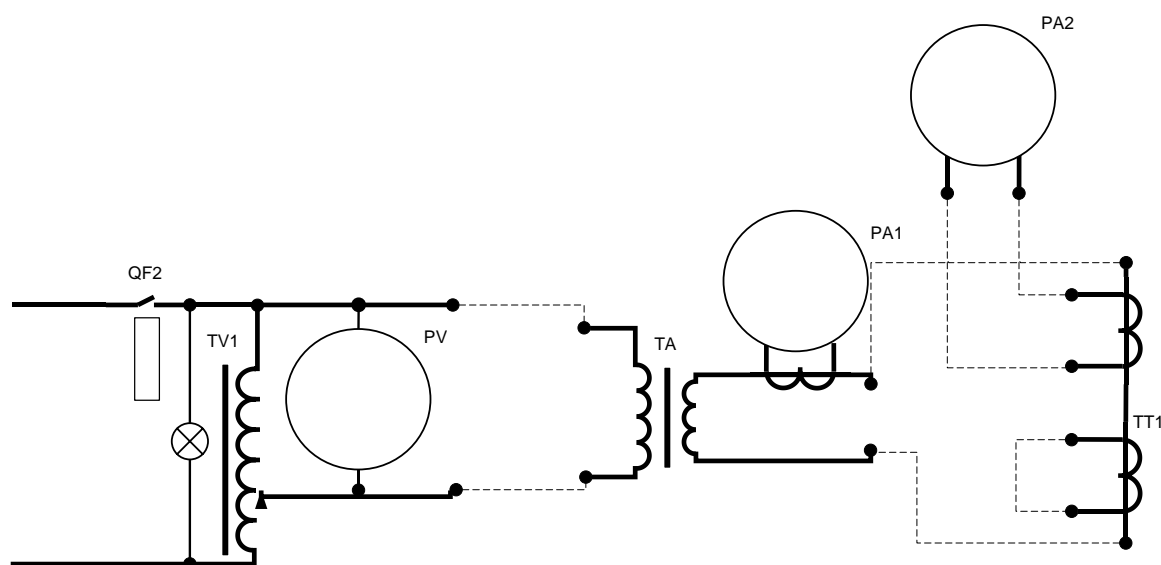


Рис. 2. Схема определения $K_{ТТ}$ трансформатора тока ТТ1

ВНИМАНИЕ! Вторичные обмотки неиспользуемых ТТ обязательно закоротить.

Амперметры РА1 и РА2 должны быть класса точности не ниже 1,0, причем для измерения тока в первичной цепи амперметр РА1 включается через образцовый трансформатор тока типа УТТ-5 из комплекта измерительных приборов (КИП). Отсчеты первичного тока снимаются при вторичном токе 1,2, 3, 4, 5 А трансформатора тока УТТ-5. Коэффициент трансформации трансформатора тока ТТ1 определяется для снятых отсчетов по амперметру РА2 и сравнивается с ближайшим стандартным.

Коэффициент трансформации трансформатора тока

$$K_{\text{ТТ}} = \frac{I_1}{I_2}.$$

Несовпадение измеренного коэффициента со стандартным свидетельствует о неисправности ТТ1 или о погрешности измерений.

Экспериментальные данные задания 2 привести в таблице 1.

Таблица 1

I_1, A	I_2, A	$K_{\text{ТТ}}$
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	

Задание 3. Определение токовой погрешности производится по схеме рис. 2.

Токовая погрешность характеризует относительное различие действующих значений токов, выражается в процентах и определяется по формуле

$$f_{\text{Т}} = \frac{I_2 \cdot K_{\text{ТТ.НОМ}} - I_1}{I_1} \cdot 100 = \frac{I_2 - I_1 / K_{\text{ТТ.НОМ}}}{I_1 / K_{\text{ТТ.НОМ}}} \cdot 100,$$

где I_1 и I_2 — действующие значения соответственно первичного и вторичного токов.

Экспериментальные данные задания 3 привести в таблице 2.

Таблица 2

I_1, A	I_2, A	$f_{\text{Т}}, \%$
	1	
	2	
	3	

	4	
	5	

Задание 4. Вольтамперная характеристика (ВАХ) – (характеристика намагничивания) ТТ представляет собой зависимость напряжения на зажимах вторичной обмотки от тока намагничивания, проходящего по ней, при разомкнутой первичной обмотке, т. е. $U_2 = f(I_2)$.

Снятие ВАХ ТТ производится по схеме рис. 3.

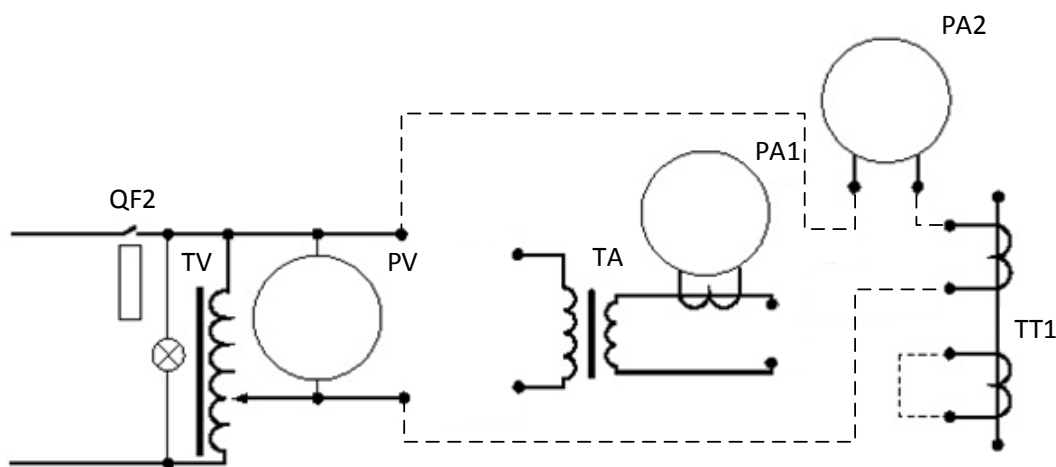


Рис. 3. Схема определения ВАХ трансформатора тока ТТ2

В соответствии с инструкцией по проверке ТТ рекомендуется использовать для измерения U_2 – вольтметр, реагирующий на среднее значение напряжения, I_2 – амперметр, реагирующий на амплитудное значение тока. Так как на стенде для снятия ВАХ ТТ используются приборы электромагнитной системы, то к требуется полученные значения токов и напряжений привести в нужной форме. В качестве регулирующего устройства используется автотрансформатор TV1 (РНО-250-5).

Отсчеты производятся по амперметру PA1 при токах 1, 2, 3, 4, 5 А для одной из двух вторичных обмоток ТТ1. Показания приборов для этих случаев записываются в таблицу 3.

Таблица 3

I_2, A	1	2	3	4	5
U_2, B					

По данным измерений строится ВАХ (по подобию рис. 4).
 Опытные характеристики сравниваются с типовыми для данного трансформатора тока. При наличии виткового замыкания опытная характеристика располагается ниже типовой (см. рис. 4).

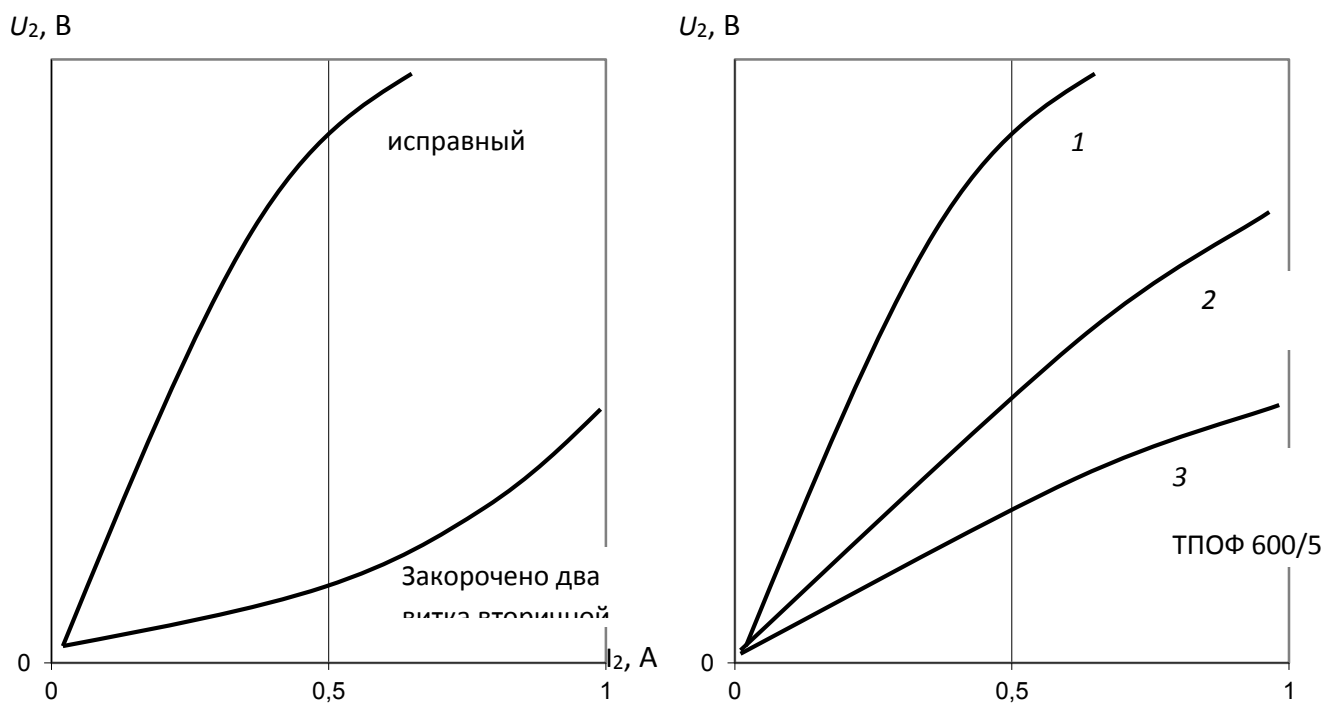


Рис. 4. Вторичные вольтамперные характеристики (ВАХ) трансформаторов тока

Сделать вывод о проделанной работе

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра ЭПП



Отчёт по лабораторной работе №3
«ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ОПЫТНАЯ ПРОВЕРКА
ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА»

Выполнил:

студент группы

Проверил:

Томск 201__

Цель работы: Ознакомиться с конструктивными особенностями имеющихся в лаборатории трансформаторов тока (ТТ). Опытным путем определить однополярные зажимы обмоток трансформаторов тока, коэффициент трансформации трансформаторов тока и токовую погрешность ТТ, построить вторичные вольтамперные характеристики (ВАХ).

Описание лабораторного стенда

На рисунке 1 представлена лицевая панель стенда.

- светодиодный индикатор с номером стенда № 3, который указывает наличие/отсутствие напряжения на входном трехфазном автомате QF;

- источник постоянного тока для определения однополярных зажимов обмоток ТТ2 с помощью амперметра индикаторного типа РА3. Источник выполнен по мостовой схеме выпрямления, включенный через понижительный трансформатор TV2, который включается однофазным автоматом QF1;

- для снятия вольтамперной характеристики трансформатора тока ТТ1 (амперметр РА2 и внешний вольтметр), определения его погрешности и питания нагрузочного трансформатора ТА с регулировкой тока нагрузки (амперметр РА1) в опытах по определению коэффициента трансформации трансформаторов тока – $K_{ТТ}$ используется автотрансформатор TV1 и одноэлементный автомат QF2;

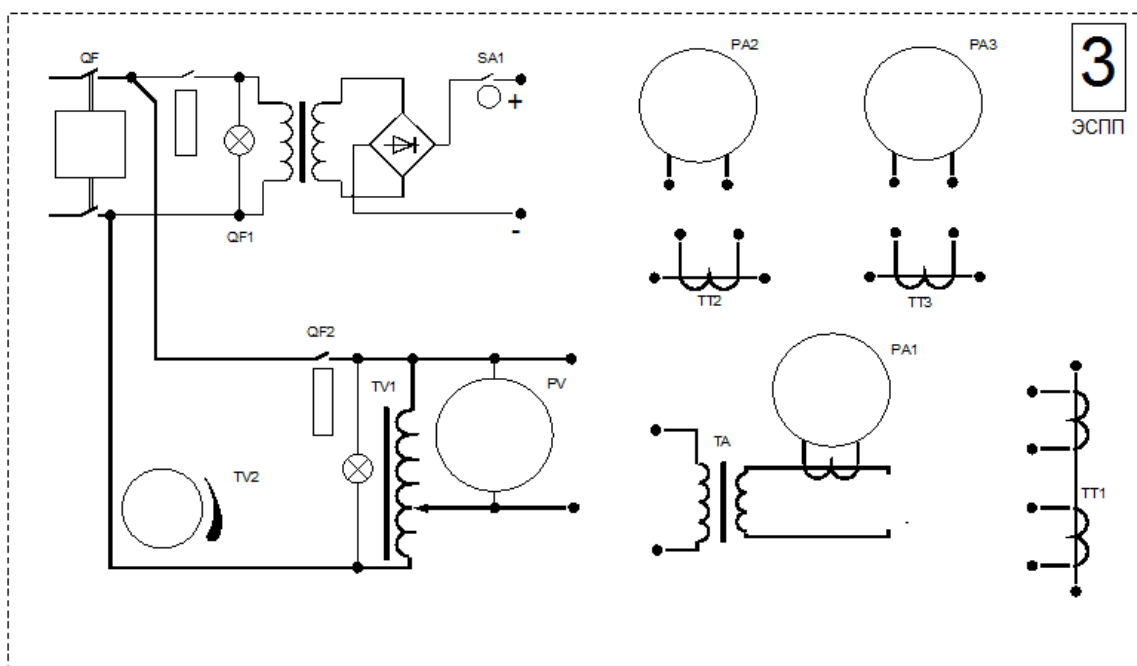


Рисунок 1 - Передняя панель стенда №3.

Задание №1. Определение однополярных зажимов

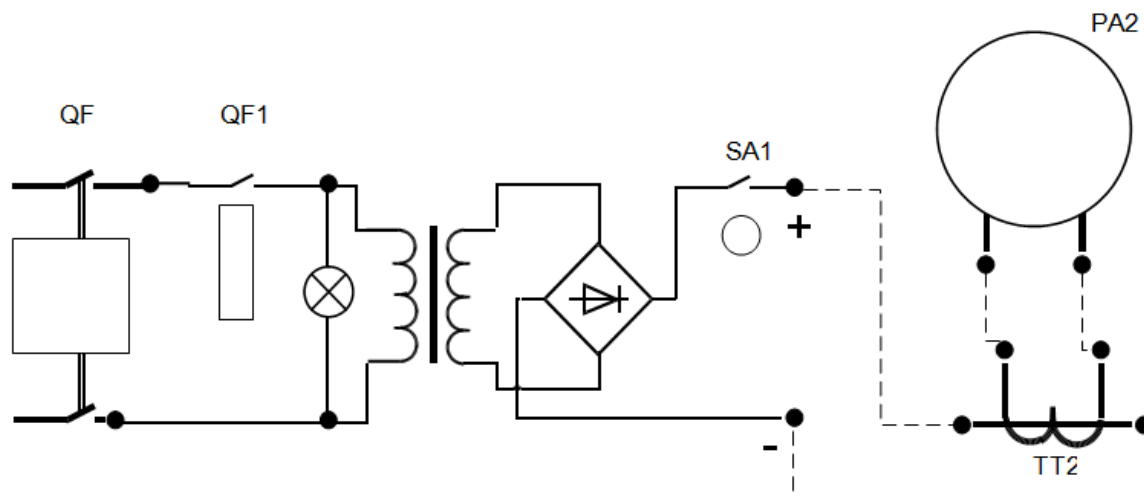


Рисунок 2 - Схема определения однополярных зажимов трансформатора тока ТТ2.

Зная, что положительному направлению тока в первичной цепи (от зажима L_1 к зажиму L_2) соответствует направление тока во вторичной обмотке от конца (зажим I_2) к началу (зажим I_1) можно по направлению отклонения стрелки амперметра (РА3) определить однополярные выводы обмоток ТТ2. Направление отклонения стрелки амперметра фиксируется в момент замыкания тумблера SA1, когда во вторичной цепи ТТ2 по правилу Ленца индуцируется ток.

Задание №2. Определение коэффициента трансформации трансформатора тока

Опыт проводится согласно схеме, приведенной на рисунке 3.

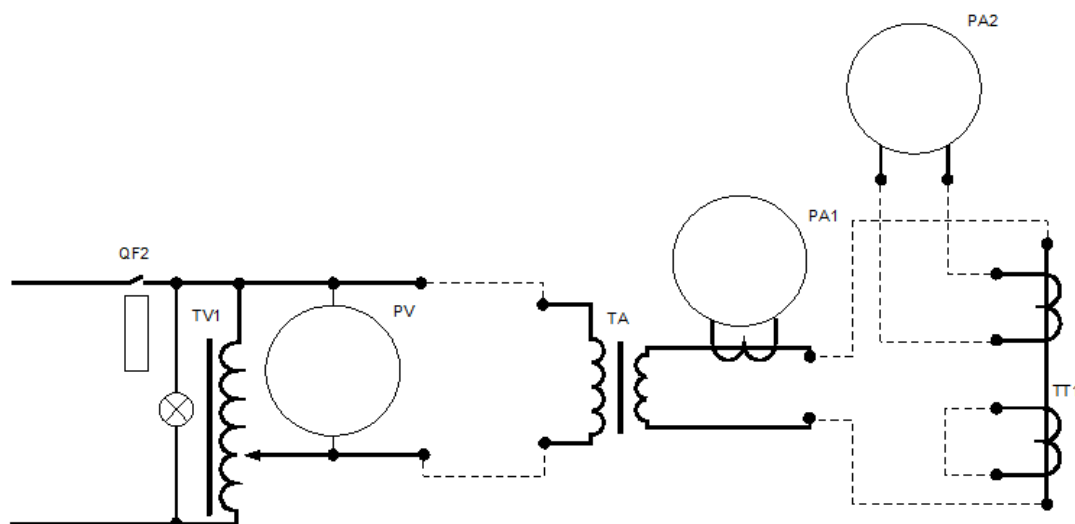


Рисунок 3 - Схема определения $K_{ТТ}$ ТТ1.

Экспериментальные данные задания 2 приведены в таблице 1.

Таблица 1

I_1, A	I_2, A	$K_{\text{ТТ}}$
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	

В качестве примера коэффициент трансформации трансформатора тока равен

$$K_{\text{ТТ}} = \frac{I_1}{I_2}$$

Задание №3. Определение токовой погрешности трансформатора тока

Опыт проводится согласно схеме, приведенной на рисунке 3. Экспериментальные данные задания 3 привести в таблице 2.

Таблица 2

I_1, A	I_2, A	$f_{\text{т}}, \%$
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	

Пример расчета токовой погрешности трансформатора тока

$$f_{\text{т}} = \frac{I_2 \cdot K_{\text{ТТ.НОМ}} - I_1}{I_1} \cdot 100 = \frac{I_2 - I_1 / K_{\text{ТТ.НОМ}}}{I_1 / K_{\text{ТТ.НОМ}}} \cdot 100.$$

Задание №4. Снятие ВАХ трансформатора тока
 Опыт проводится, согласно схеме на рисунке 4.

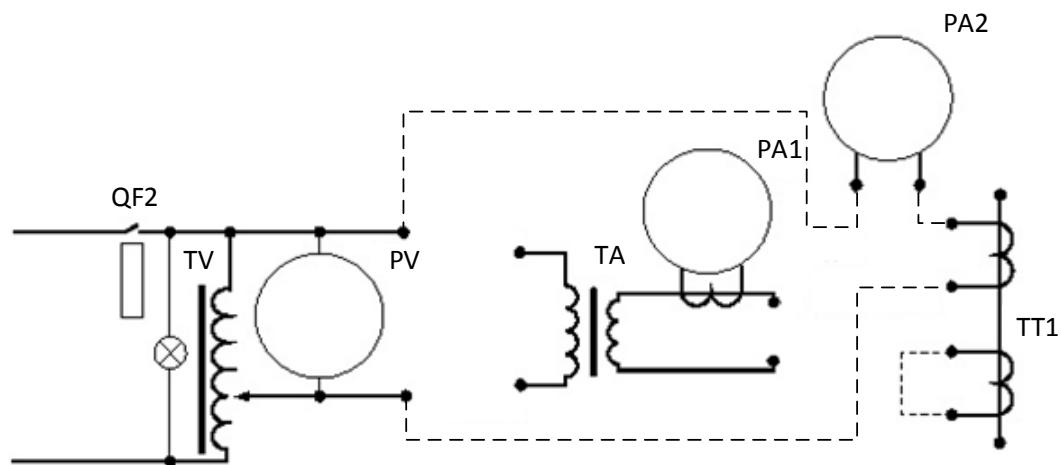


Рисунок 4 - Схема снятия ВАХ ТТ2.

Полученные данные эксперимента сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Экспериментальные данные опыта №4

I_2, A	1	2	3	4	5
U_2, B					

По данным таблицы 3 построена ВАХ и представлена на рисунке 5.

Вывод

5 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Принцип действия трансформатора тока.
2. Назначение трансформаторов тока.
3. Классификация трансформаторов тока.
4. Основные номинальные параметры трансформатора тока.
5. Схема замещения трансформатора тока.
6. Векторная диаграмма трансформатора тока.
7. Токовая погрешность трансформатора тока.
8. Угловая погрешность трансформатора тока.
9. Полная погрешность трансформатора тока.
10. Определение маркировки первичной и вторичной обмоток.
11. Цель снятия вольтамперной характеристики трансформатора тока.
12. Схемы включения трансформаторов тока в трехфазные цепи.
13. Вторичная нагрузка трансформаторов тока.
14. Режим работы трансформатора тока.
15. Условные графические обозначения трансформаторов тока и их буквенные обозначения.

6. ГЛОССАРИЙ

1. **Лабораторный трансформатор тока (напряжения)** – Трансформатор тока (напряжения), предназначенный для эпизодического использования при электрических измерениях и поверке измерительных приборов и трансформаторов тока (напряжения).

2. **Вторичная цепь трансформатора тока (напряжения)** – Внешняя цепь, получающая сигналы измерительной информации от вторичной обмотки трансформатора тока (напряжения).

3. **Образцовый трансформатор тока (напряжения)** – Трансформатор тока (напряжения), служащий для поверки по нему других трансформаторов тока (напряжения, или расширения пределов измерения образцовых измерительных приборов и утвержденный в качестве образцового органами государственной метрологической службы.

4. **Компенсированный трансформатор тока (напряжения)** – Трансформатор тока (напряжения), точность трансформации тока (напряжения) которого в определенном диапазоне первичного тока (напряжения) обеспечивается с помощью специальных средств.

5. **Класс точности трансформатора тока (напряжения)** – Обобщенная характеристика трансформатора тока (напряжения), определяемая установленными пределами допускаемых погрешностей при заданных условиях работы. Класс точности обозначается числом, которое равно пределу допускаемой токовой погрешности (погрешности напряжения) в процентах при номинальном первичном токе (напряжении).

6. **Токовая погрешность трансформатора тока** – Погрешность, которую трансформатор тока вносит в измерение тока, возникающая вследствие того, что действительный коэффициент трансформации не равен номинальному. Токовая погрешность определяется как арифметическая разность между действительным вторичным током и приведенным ко вторичной цепи действительным первичным током, выражения в процентах от приведенного ко вторичной цепи действительного первичного тока.

7. **Угловая погрешность трансформатора тока** – Угол между векторами первичного и вторичного токов при таком выборе их направлений, чтобы для идеального трансформатора тока этот угол равнялся нулю. Угловая погрешность выражается в минутах или сантирадианах и считается положительной, когда вектор вторичного тока опережает вектор первичного тока.

8. **Полная погрешность трансформатора тока** – Действующее значение разности между произведением номинального коэффициента трансформации на мгновенное действительное значение вторичного тока и мгновенным значением первичного тока в установившемся режиме.

Полная погрешность выражается, обычно, в процентах от действующего значения первичного тока.

9. **Вторичная нагрузка трансформатора тока** – Полное сопротивление внешней вторичной цепи трансформатора тока, выраженное в омах с указанием коэффициента мощности Примечание. Вторичная нагрузка может характеризоваться также кажущейся мощностью в вольтамперах, потребляемой ею при данном коэффициенте мощности при номинальном вторичном токе.

10. **Ток электродинамической стойкости трансформатора тока** – Наибольшее амплитудное значение тока короткого замыкания за все время его протекания, которое трансформатор тока выдерживает без повреждений, препятствующих его дальнейшей исправной работе.

11. **Ток термической стойкости трансформатора тока** – Наибольшее действующее значение тока короткого замыкания за промежуток времени t , которое трансформатор тока выдерживает в течение этого промежутка времени без нагрева токоведущих частей до температур, превышающих допустимые при токах короткого замыкания, и без повреждений, препятствующих его дальнейшей исправной работе.

12. **Погрешность напряжения трансформатора напряжения** – Погрешность, которую вносит трансформатор напряжения в измерение напряжения, возникающая вследствие того, что действительный коэффициент трансформации не равен номинальному. Погрешность напряжения определяется как арифметическая разность между приведенным к первичной цепи действительным вторичным напряжением и действительным первичным напряжением, выражения в процентах от действительного первичного напряжения.

13. **Угловая погрешность трансформатора напряжения** – Угол между векторами первичного и вторичного напряжения при таком выборе их направлений, чтобы для идеального трансформатора напряжения этот угол равнялся нулю. Угловая погрешность выражается в минутах или сантирадианах и считается положительной, когда вектор вторичного напряжения опережает вектор первичного напряжения.

14. **Шинный трансформатор тока** – Трансформатор тока, первичной обмоткой которого служит одна или несколько параллельно включенных шин распределительного устройства. Шинные трансформаторы тока имеют изоляцию, рассчитанную на наибольшее рабочее напряжение.

15. **Каскадный трансформатор напряжения** – Трансформатор напряжения, первичная обмотка которого разделена на несколько последовательно соединенных секций, передача мощности от которых к вторичным обмоткам осуществляется при помощи связующих и выравнивающих обмоток.

7 ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80_%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%B0.

Трансформатор тока. Свободная энциклопедия Википедия.

2. <http://www.russgost.ru/catalog/item43227>. Инструкция по проверке трансформаторов тока, используемых в схемах релейной защиты и измерения.

3. <http://vsegost.com/Catalog/50/507.shtml>. ГОСТ 7746-2001. Трансформаторы тока. Общие технические условия.

4. <http://vsegost.com/Catalog/26/26516.shtml>. ГОСТ 18685-73. Трансформаторы тока и напряжения. Термины и определения.

5. <http://vsegost.com/Catalog/60/6001.shtml>. ГОСТ 8.217-2003. Государственная система обеспечения единства измерений. Трансформаторы тока. Методика поверки.