

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра энергетики и технологии металлов

## **ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА**

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы № 1  
по курсу «Электрические станции и  
подстанции систем электроснабжения»  
для студентов  
дневной и заочной формы обучения  
специальности 140211 (100400) «Электроснабжение»

Курган 2005

Мошкин Владимир Иванович

Кафедра: «Энергетика и технология металлов»

Дисциплина: «Электрические станции и подстанции систем  
Электроснабжения» (специальность 100400).

Составил: доцент, канд. техн. наук Мошкин В.И.

Утверждены на заседании кафедры 22 декабря 2004 г.

Рекомендованы методическим советом университета  
«\_\_\_»\_\_\_\_\_2004 г.

## ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Методические указания  
к выполнению лабораторной работы № 1  
по курсу «Электрические станции и  
подстанции систем электроснабжения»  
для студентов  
дневной и заочной формы обучения  
специальности 140211 (100400) «Электроснабжение»

Редактор Н.М. Кокина

---

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Заказ	Усл.печ.л. 1,0	Уч.-изд. л. 1,0
Печать трафаретная	Тираж 50	Цена свободная

---

Редакционно-издательский центр КГУ.  
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.  
Курганский государственный университет.

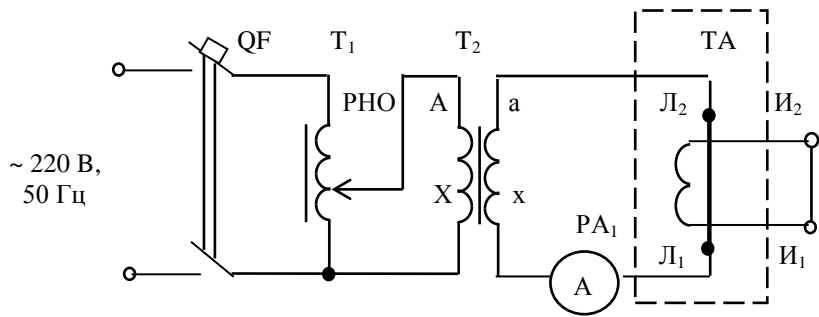


Рис. 1

Включить выключатель QF и с помощью автотрансформатора (PHO) установить по амперметру  $PA_1$  ток величиной 4 - 4,5 А в первичной обмотке исследуемого трансформатора ТА, показание амперметра записать, после чего, не изменяя положения штурвала PHO, снять напряжение питания, отключив цепь автоматом QF.

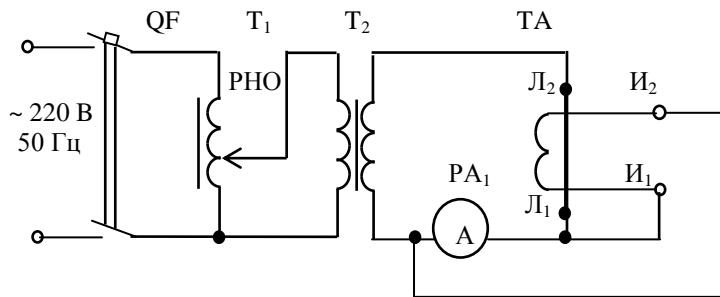


Рис. 2

2.2. Собрать цепь по схеме рис. 2. Вновь подать в цепь прежнее напряжение, включив выключатель QF. При правильной маркировке зажимов трансформатора ТА амперметр  $PA_1$  покажет разность токов первичной и вторичной цепи, это показание записать.

Не изменяя положения штурвала РНО, отключить источник питания.

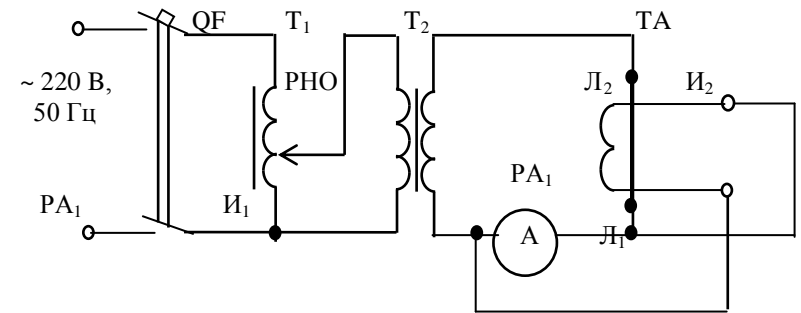


Рис. 3

2.3. Собрать цепь по схеме рис. 3. Вновь подать напряжение питания выключателем QF, не изменяя положение штурвала РНО. При правильной маркировке зажимов трансформатора ТА амперметр  $PA_1$  покажет сумму первичного и вторичного токов, это показание также записать. Уменьшить напряжение РНО до нуля и отключить цепь.

2.4. Аналогичный опыт по п.п. 2.1- 2.3 проделать с другой вторичной обмоткой, а также с другим трансформатором тока.

3. Определить полярность выводов обмоток ТТ методом ваттметра.

3.1. Собрать цепь по схеме рис. 4.

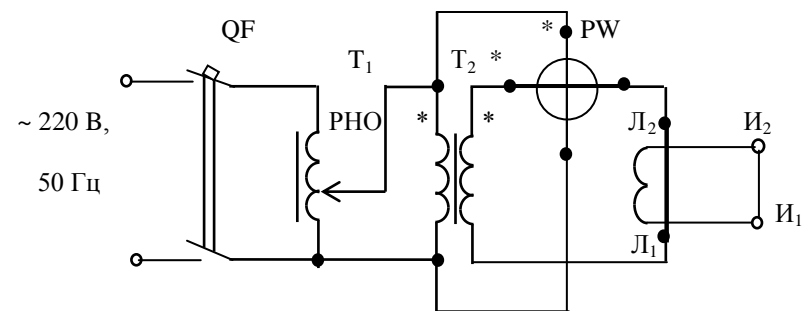


Рис. 4

3.2. С помощью РНО плавно повышать напряжение источника, при этом ваттметр PW фиксирует положительные показания.

Примечание. Рекомендуется для ваттметра выбрать предел измерения по напряжению, равный 30 В.

3.3. Затем собрать цепь по схеме рис. 5.

3.4. С помощью РНО снова повышать напряжение. Если в этом случае стрелка ваттметра PW отклоняется в положительном направлении, то маркировка зажимов определена правильно.

3.5. Аналогичный опыт по пп 3.1-3.4 выполнить с другой вторичной обмоткой, а также с другим трансформатором тока.

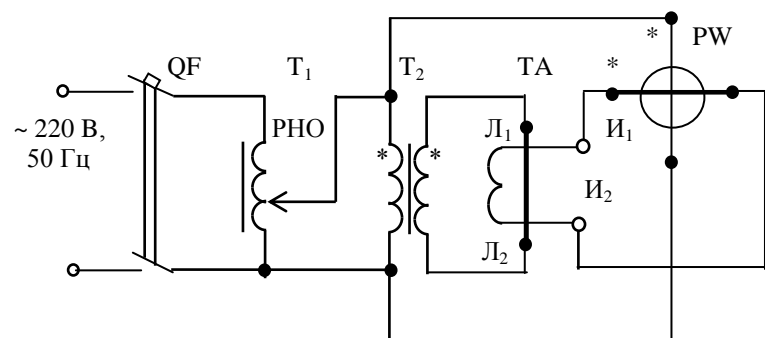


Рис. 5

4. Снять вольтамперные характеристики  $U_2 = f(I_2)$  (кривые намагничивания) вторичных обмоток трансформатора тока.

4.1. Собрать цепь по схеме рис. 6 для одной из вторичных обмоток.

Погрешности (токовые и угловые) определяются в основном отношением намагничивающего тока  $I_{10}$  к первичному току  $I_1$ . Чем выше требуемая точность измерения при данном номинальном первичном токе, тем меньше должна быть величина намагничивающего тока. Поэтому кривая намагничивания обмотки классом 0,5 идет значительно выше кривой намагничивания обмотки класса 3.

При текущей эксплуатации осуществляют внешний осмотр ТТ, производят прозвонку проводников, проверку изоляции ТТ, полярности его зажимов, снимают ВАх ТТ и измеряют сопротивление проводников во вторичных цепях.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством используемых в работе высоковольтных трансформаторов тока и записать их паспортные данные в таблицу 1.

Таблица 1

ТИП	Номинальное Напряжение	Токи		Варианты исполнения вторич. обмоток	Классы точности вторич. обмоток	Ток электродинамической стойкости I дин	Ток и допустимое время термической стойкости		Номинальная предельная кратность тока для защит
		первичный	вторичный				$I_{тер.н.}$	$t_{тер.н.}$	
	кВ	А	А	-	-	кА	кА	с	-
ГЛМ-10	10	1500	5	0,5/10Р	0,5;10Р	100	26	3	10
ГОЛ-10	10								

2. Определить полярность выводов обмоток ТТ методом амперметра.

2.1. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 1

В лаборатории представлены трансформаторы тока внутренней установки высокого напряжения типа ТЛМ-10, ТЗЛМ и ТОЛ-10, а также низковольтные типа УТТ-5 и ТК-20.

При испытаниях ТТ проверяется правильность маркировки выводов обмоток и снимается кривая намагничивания  $U_2 = f(I_2)$ .

Полярность выводов обмоток проверяют методами амперметра и ваттметра. Метод амперметра основан на том, что показания амперметра в цепи первичной обмотки ТТ изменяются в зависимости от фазировки его вторичной обмотки, когда последняя подключена к зажимам этого амперметра. При согласном включении обмоток ток через амперметр возрастает, при встречном - уменьшается. Метод ваттметра при определении полярности обмоток основан на том, что показания ваттметра не изменяют свой знак при переносе токовой обмотки ваттметра из первичной цепи ТТ во вторичную, если маркировка выводов обозначена правильно.

Кривая намагничивания трансформатора тока в определенном масштабе выражает зависимость магнитной индукции  $B$  от напряженности  $H$  магнитного поля сердечника. Индукция  $B$  в нем пропорциональна ЭДС ( $E_2 \approx U_2$ ), а, следовательно, и первичному току  $I_1$ , так как

$$E_2 = z_2 \cdot I_2 \approx \frac{I}{k_{ном}} I_1 \cdot z_2 \quad ,$$

где  $z_2$  - полное сопротивление вторичной цепи трансформатора тока.

Напряженность  $H$  пропорциональна вторичному току  $I_2$ . Таким образом, снимая ВАх  $U_2 = f(I_2)$ , получают в определенном масштабе кривую намагничивания стали сердечника. По ВАх определяют исправность ТТ (отсутствие витковых замыканий), идентичность сердечников разных трансформаторов тока одного типа, а также производится оценка соответствия сердечников ТТ номинальному классу точности. При наличии витковых замыканий характеристика идет ниже нормальной кривой намагничивания.

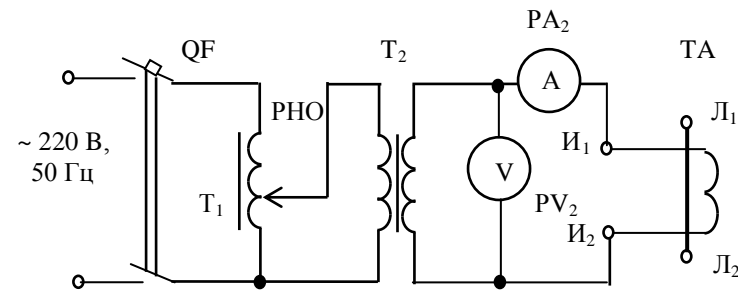


Рис. 6

Примечание 1. В качестве вольтметра  $PV_2$  рекомендуется использовать электронный вольтметр типа ВЗ-38 на пределах 10 и 100 В. В качестве амперметра  $PA_2$  рекомендуется использовать миллиамперметр с пределом 200 мА.

Примечание 2. При снятии ВАх с ТТ типа ТЛМ, ТПОЛ рекомендуется исключать понижающий трансформатор  $T_2$  (рис. 6), оставив автотрансформатор  $T_1$ .

4.2. Включить цепь, с помощью РНО плавно повышать напряжение, записывая в таблицу 2 соответствующие значения тока и напряжения. Рекомендуется сделать не менее пяти замеров через примерно одинаковые интервалы тока.

Таблица 2

$I_2, A$							
$U_2, B$							

4.3. Аналогичный опыт проделать с другой вторичной обмоткой данного трансформатора тока, а также с другим трансформатором тока. Результаты занести в таблицы, аналогичные таблице 2.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОБРАБОТКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. В одних координатных осях построить в масштабе ВАх исследуемых трансформаторов тока.
2. Сравнить полученные ВАх и сделать выводы о наличии витковых замыканий, дефектов в стали магнитопровода и классе точности обмотки.

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. В отчете привести схемы определения полярности выводов трансформатора тока, схему снятия кривой намагничивания, записать показания приборов для всех опытов и сделать необходимые выводы, построить вольтамперные характеристики.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. От чего зависят погрешности в измерениях трансформатора тока и как их уменьшить?
2. С какой целью проводится проверка полярности выводов обмоток?
3. Как выявить витковое замыкание трансформатора тока?
4. Чем отличаются кривые намагничивания обмоток разного класса точности?
5. Выбрать трансформатор тока для заданных параметров установки каждому члену бригады по вариантам согласно таблице 3.

Поэтому запрещается размыкать вторичную обмотку ТТ при протекании тока в первичной обмотке. При замене прибора или реле вторичная обмотка трансформатора тока предварительно замыкается накоротко.

Трансформаторы тока для внутренней установки до 35 кВ имеют литую эпоксидную изоляцию. Для наружной установки выпускают ТТ опорного типа в фарфоровом корпусе с бумажно-масляной изоляцией.

Наиболее рациональна конструкция ТТ с одновитковой первичной обмоткой в виде шины или стержня. Однако для получения высокого класса точности (классы 0,5; 1) первичная номинальная МДС должна быть не ниже определенной величины. Для современных магнитных материалов и одновитковых конструкций при классе точности 0,5 минимальный ток должен быть не менее 400-900 А. При токах менее 400 А первичная обмотка выполняется многовитковой.

По способу установки ТТ подразделяются на проходные, опорные, шинные и встроенные. Шинные трансформаторы применяются на большие номинальные первичные токи и роль первичной обмотки у них выполняет шина, проходящая внутри трансформатора. В установках 35 кВ и выше широко применяются трансформаторы тока, которые встроены в проходные втулки силовых трансформаторов или баковых выключателей. Первичной обмоткой таких трансформаторов является стержень втулки (ввод). Первичной обмоткой ТТ в ячейках КРУЭ (комплектное распределительное устройство элегазовое) на 110 и 220 кВ служит токоведущий стержень. Магнитопроводы с вторичными обмотками на ток 1А расположены внутри герметичной металлической оболочки и заполнены элегазом, который является изолирующей средой между первичной и вторичной обмотками ТТ.

Трансформаторы тока выбираются по следующим параметрам: по напряжению и рабочему току установки, по конструкции, классу точности и нагрузке присоединения /1-4/, а проверяются – по термической и электродинамической стойкости к токам к.з.

существует угол, который называется угловой погрешностью и измеряется в минутах. Если вторичный ток опережает первичный, то погрешность по углу положительная.

Класс точности трансформатора определяется его погрешностью по току (токовой погрешностью) в процентах при первичном токе, равном 1...1,2 от номинального. В зависимости от погрешности по ГОСТ 7746-78 различают классы точности 0,2; 0,5; 1; 3; 5; 10, а также с сердечниками особого исполнения для релейной защиты 5Р и 10Р. Указанные цифры представляют собой токовую погрешность, она определяется по выражению

$$\Delta I\% = \frac{k_{ном} \cdot I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100\%,$$

где  $k_{ном} = I_{1ном} / I_{2ном}$  - номинальный коэффициент трансформации.

Угловая погрешность ТТ нормирована только для трансформаторов классов точности 0,2; 0,5 и 1.

Погрешности ТТ зависят от его конструктивных особенностей: сечения магнитопровода, его магнитной проницаемости, средней длины магнитной линии, величины МДС, а также от вторичной нагрузки (сопротивление прибора, проводников, контактов) и от кратности первичного тока по отношению к номинальному. Увеличение сопротивления нагрузки и кратности тока ведет к увеличению погрешности. При первичных токах значительно меньше номинального, погрешности трансформатора тока также возрастают.

Сопротивление токовых цепей измерительных приборов и реле очень мало, поэтому трансформатор тока нормально работает в режиме, близком к режиму короткого замыкания. Если разомкнуть вторичную обмотку, например, при замене прибора, то магнитный поток в магнитопроводе резко возрастает, так как при этом исчезает размагничивающее действие МДС вторичной обмотки. Это приводит к недопустимому нагреву магнитопровода, а на вторичной разомкнутой обмотке - появлению высокого напряжения, достигающего в некоторых случаях десятков киловольт.

Вариант	$U_{уст.},$ кВ	$I_p,$ А	$i_{уд.}^{(3)},$ кА	$B_k,$ кА <sup>2</sup> ·с
1	6	500	95	2100
2	10	150	20	2,2
3	35	600	100	260
4	110	1000	90	196
5	220	800	95	200
6	10	1000	100	2000

Нагрузка трансформатора тока: амперметр, ваттметр, счетчик активной энергии, счетчик реактивной энергии. Порядок выбора трансформатора тока приведен в [1, 2, 3].

6. Поясните принцип действия цепи (рис. 7) для проверки правильности маркировки выводов обмоток в «полевых» условиях, т.е. вне измерительной лаборатории.

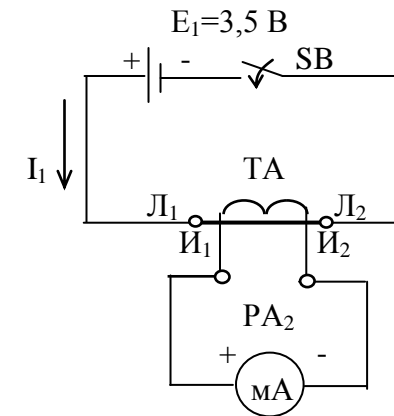


Рис. 7

1. Электрическая часть станций и подстанций/ Под ред. А.А. Васильева. - 2-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1990.- 576 с.
2. Электрическая часть станций и подстанций/ Под ред. А.А. Васильева.-М.: Энергия, 1980.- 608 с.
3. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций.-2-е изд. - М.: Энергия, 1987.- 648 с.
4. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования - М.: Энергоатомиздат, 1989.- 608с.
5. Афанасьев В.В., Адоньев Н.М., Кибель В.М. Трансформаторы тока. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1989. – 416 с.
6. Жуков В.В., Минин В.Ф. Современные КРУ с вакуумными и электромагнитными выключателями. – М.: Высш. шк., 1989. – 103 с.
7. Гук Ю.Б., Кантан В.В., Петрова С.С. Проектирование электрической части станций и подстанций. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.

## ИСПЫТАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Цель работы: Изучить конструкцию трансформаторов тока, освоить основные приемы и методы их испытаний

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЯСНЕНИЯ

Трансформаторы тока (ТТ) предназначены для уменьшения первичного тока до значения, удобного для измерений и релейной защиты, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения. Значения номинального вторичного тока приняты равными 5А и 1А (ГОСТ 7746-78).

Каждый трансформатор тока состоит из замкнутого магнитопровода (сердечника), обмоток (первичной и вторичной) и изоляции. В целях экономии ТТ выполняют с двумя и большим числом сердечников, несущих вторичные обмотки, и одной общей первичной обмоткой.

Первичная обмотка включается последовательно в цепь измеряемого тока и ее выводы обозначают буквами  $L_1$  и  $L_2$ , где  $L_1$  - начало, а  $L_2$  - конец обмотки. Ко вторичной обмотке присоединяются измерительные приборы и реле, и ее выводы обозначают:  $I_1$  - начало вторичной обмотки,  $I_2$  -конец вторичной обмотки, он обычно заземляется.

Выбор начала первичной обмотки произволен. Но, если при принятой заводской маркировке ток в первичной цепи протекает от  $L_1$  к  $L_2$ , то за начало вторичной обмотки  $I_1$  согласно ГОСТ 7746-78 принимают тот ее зажим, из которого мгновенный ток направляется во внешнюю цепь. При несоблюдении полярности ТТ приборы ваттметрового типа (счетчики, фазометры и т.п.) будут работать неправильно. Обе обмотки намотаны в одну сторону. При таком положительном направлении мгновенных токов в ТТ без погрешностей векторы вторичного  $I_2$  и первичного  $I_1$  токов совпадают по фазе. В реальном ТТ между этими векторами