

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

С. Г. Жуковец

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ПРАКТИКУМ

**по выполнению лабораторных работ
по одноименной дисциплине**

для студентов специальности 1-43 01 07

**«Техническая эксплуатация энергооборудования»
дневной формы обучения**

Гомель 2016

УДК 621.31.002.5(075.8)
ББК 31.281.1я73
Ж85

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 3 от 24.11.2015 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук доц. каф. «Автоматизированный электропривод»
ГГТУ им. П. О. Сухого *Л. В. Веннер*

Жуковец, С. Г.
Ж85 Электрооборудование станций и подстанций промышленных предприятий : практикум по выполнению лаборатор. работ по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования» днев. формы обучения / С. Г. Жуковец. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 52 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Составлен в соответствии с типовой программой дисциплины «Электрооборудование станций и подстанций промышленных предприятий». Рассмотрены пять тем лабораторных занятий, приведены общие сведения по тематикам лабораторных работ и порядок выполнения и оформления лабораторных работ.

Для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования» дневной формы обучения.

УДК 621.31.002.5(075.8)
ББК 31.281.1я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2016

Лабораторная работа № 1

Вакуумные выключатели и выключатели нагрузки

1. Цель работы.

Изучение устройства и принципов работы вакуумных выключателей и выключателей нагрузки

2. Теоретические введения

Вакуумные выключатели. В настоящее время вакуумные выключатели стали доминирующими аппаратами для электрических сетей с напряжением 6-36 кВ.

Дугогасительное устройство выключателя выполняется как герметичный сосуд, давление внутри которого равно 10^{-7} - 10^{-6} Па. Нажатие подвижного контакта на неподвижный создается за счет атмосферного давления. При больших номинальных токах ставится дополнительная контактная пружина.

Конструкция выключателя

Выключатель состоит из трех полюсов, установленных на металлическом основании, в котором размещены пофазные электромагнитные приводы с магнитной защелкой, удерживающей выключатель неограниченно долго во включенном положении после прерывания тока в катушке электромагнита привода.

Остальные узлы полюсов размещаются в изоляционном корпусе из прозрачного механически прочного и дугостойкого полимерного материала (лексана), который предохраняет их от возможных в эксплуатации механических повреждений и воздействий электрической дуги тока короткого замыкания. Все три полюса имеют одинаковую конструкцию.

Конструктивно полюс выключателя состоит из следующих основных элементов:

- вакуумной дугогасящей камеры (ВДК), включающей в себя верхний (неподвижный) и нижний (подвижный) контакты, керамические изоляторы и внешний сильфон;
- ошиновки, включающей в себя верхнюю и нижнюю токоведущую шину, а также гибкий токосъем;
- тяговый изолятор;
- электромагнитный привод с "магнитной" защелкой, включающей в себя якорь, катушку и кольцевой магнит, отключающую пружину и пружину дополнительного поджатия.

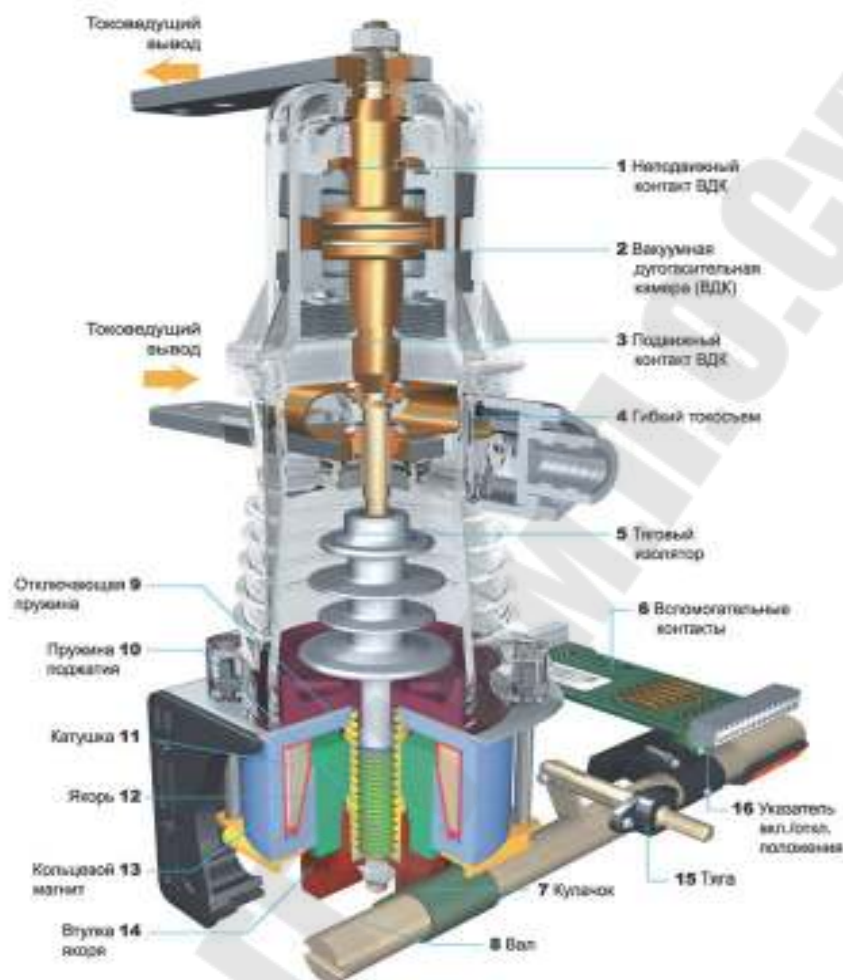


Рис. 1. Устройство вакуумного выключателя

Включение выключателя

Командой на включение от блока управления подается постоянное напряжение на катушку электромагнита 11 (Рис.1). Под действием электромагнитных сил якорь 12 начинает двигаться вверх и через пружину поджатия 10 заставляет двигаться тяговый изолятор 5 и подвижный контакт 3, сжимая при этом пружину отключения 9. После замыкания контактов 1 и 3 якорь продолжает двигаться еще 2 мм до упора, сжимая пружину 10 и создавая необходимое поджатие между контактами ВДК 2. Общий ход якоря составляет 8 мм, а ход подвижного контакта 6 мм. После снятия напряжения якорь остается во включенном положении благодаря остаточной индукции в кольцевом магните 13.

Отключение выключателя

Командой на отключение от блока управления на катушку 11 подается напряжение противоположной полярности, чем при включении. Магнит 13 при этом частично размагничивается, якорь 12 снимается с магнитной защелки и под действием пружин 9 и 10 перемещается совместно с подвижными частями выключателя в отключенное положение. В этом положении они удерживаются силой отключающей пружины 9. Ручное отключение осуществляется воздействием на кнопку ручного отключения, которая через тягу 15, шарнирно связанной с валом 8, и через кулачок 7 с якорем 12, срывает якорь с магнитной защелки и отключает выключатель.

Конструкция вакуумной камеры

Она состоит (рис.2) из пары контактов 4, 5, один из которых является подвижным 5, заключенных в вакуумноплотную оболочку, спаянную из керамических или стеклянных изоляторов 3, 7, верхней и нижней металлических крышек 2, 8 и металлического экрана 6. Перемещение подвижного контакта относительно неподвижного обеспечивается путем применения сильфона 9.

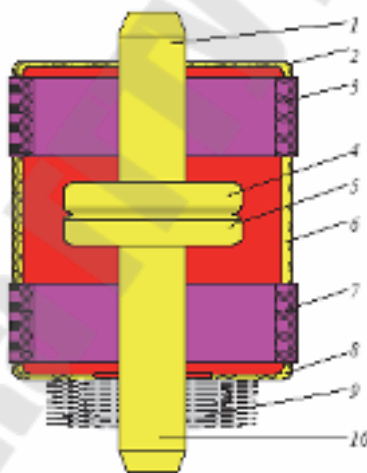


Рис. 2. Устройство вакуумной камеры

Выводы камеры 1, 9 служат для подключения ее к главной токоведущей цепи выключателя. Надо отметить, что для изготовления оболочки вакуумной камеры применяются только специальные вакуумноплотные, очищенные от растворенных газов металлы - медь и специальные сплавы, а также специальная керамика. Возможно, наиболее важной деталью камеры являются контакты. Контакты очень важны в любом механическом коммутационном устройстве (выключателе), поскольку они выполняют двойную задачу - несут ток (зачастую довольно большой) при пребывании выключателя во включен-

ном состоянии и выдерживают приложенное напряжение при его отключенном состоянии. Поэтому контакты вакуумной камеры изготавливаются из металлокерамической композиции (как правило, это медь-хром в соотношении 50%-50% или 70%-30%), обеспечивающей высокую отключающую способность, износостойкость и препятствующей возникновению точек сваривания на поверхности контактов.

Достоинства вакуумных выключателей по сравнению с масляными выключателями:

- высокий коммутационный и механический ресурсы;
- отсутствие компрессорных установок, масляного хозяйства, а также необходимости в пополнении и замене дугогасящей среды;
- отсутствие необходимости проведения текущего и среднего ремонтов;
- питание цепей управления от сети постоянного, выпрямленного и переменного оперативного тока;
- малое потребление мощности из сети оперативного питания;
- возможность отключения при потере оперативного питания;
- полная взаимозаменяемость с устаревшими маломасляными выключателями по главным и вспомогательным цепям;
- возможность работы в любом пространственном положении;
- малые габариты и масса.
- простота конструкции;
- пожаровзрывобезопасность;
- отсутствие загрязнения окружающей среды;
- большой срок службы при частых коммутациях.

Недостатки вакуумных выключателей:

- Возможно перенапряжение при отключении малых индуктивных токов.

Выбор выключателей производим по следующим параметрам:

– по напряжению электроустановки:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (1.1)$$

– по току утяжеленного режима с учетом возможных длительных перегрузок:

$$I_{утяж.р} \leq I_{ном}; \quad (1.2)$$

где $U_{ном}$, $I_{ном}$ – паспортные (каталожные) параметры выключателя;

Проверка выключателей производим по следующим условиям короткого замыкания:

– отключающую способность:

В первую очередь производится проверка на симметричный ток отключения по условию

$$I_{п0} \leq I_{ном.откл} \quad (1.3)$$

где $I_{ном.откл}$ – номинальный ток отключения по каталогу.

– на термическую стойкость:

Выключатель проверяют по расчетному импульсу квадратичного тока КЗ B_K и каталожным параметрам термической устойчивости I_T и времени его протекания t_T :

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T. \quad (1.4)$$

Параметр B_K определяется следующим образом:

$$B_K = I_{по}^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (1.5)$$

где $t_{откл} = t_{рз} + t_{св}$,

$t_{рз}$ – время действия релейной защиты;

$t_{св}$ – собственное время отключения выключателя (приводится в технических характеристиках выключателя).

– на электродинамическую стойкость:

$$i_y \leq I_{м.дин} \quad (1.6)$$

где $I_{п0}$, i_y – расчетные значения периодической составляющей тока КЗ (при $t = 0$) и ударного тока (при $t = 0,01$ с) в цепи, для которой выбирается выключатель;

$I_{м.дин}$ – амплитудное значение сквозного тока КЗ (каталожные параметры выключателя).

Расчетным видом КЗ для проверки на электродинамическую и термическую стойкость является трёхфазное КЗ.

Выбор выключателей рекомендуется производить в табличной форме:

Таблица 1.1.

Выбор выключателей

Расчетные параметры цепи	Каталожные данные выключателя	Условия выбора
$U_{уст}$	$U_{ном}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$k_{ав.пер} \cdot I_{ном.тр}$	$I_{ном}$	$k_{ав.пер} \cdot I_{ном.тр} \leq I_{ном}$
$I_{п0}$	$I_{ном.откл}$	$I_{п0} \leq I_{ном.откл}$
i_y	$I_{дин}$	$i_y \leq I_{дин}$
B_K	$I_T; t_T$	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$

Вакуумные выключатели ВВТЭ-10/630-1600У2 (с электромагнитным приводом) и ВВТП-10/630-1600 (с пружинным приводом) встраиваются в ячейки КРУ и предназначены для коммутации электрических цепей 10 кВ в нормальных и аварийных режимах.

Для частых коммутаций в нормальных и аварийных режимах в открытых электроустановках 35 кВ применяется вакуумные выключатели ВВК-35Б-20/1000У1.

В установках 110 кВ находит применение вакуумный выключатель ВВК-110Б-20/1000У1. В отличие от выключателей на 10 и 35 кВ выполняемых с одной дугогасительной камерой в каждом его полюсе, в фарфоровой крышке заключены четыре последовательно включённые дугогасительные камеры.

Автогазовые выключатели. В автогазовых выключателях гашения дуги используется газ, выделяющийся из твёрдого газогенерирующего материала дугогасительной камеры. В системах электроснабжения городов и промышленных предприятий достаточно широко распространены выключатели нагрузки ВН-16 и ВН-17. Эти выключатели представляют собой трёхполюсный разъединитель для внутренней установки (рис.3).

На опорных- изоляторах 5 рамы 4 установлены дугогасительные камеры 3, имеющие неподвижные основные 2 контакты и дугогасительные 10 контакты. Подвижные контакты также состоят из основных 9 и дугогасительных 7 и через тяги 8 связаны с приводным валом 6. Привод выключателя может быть ручным или электромагнитным.

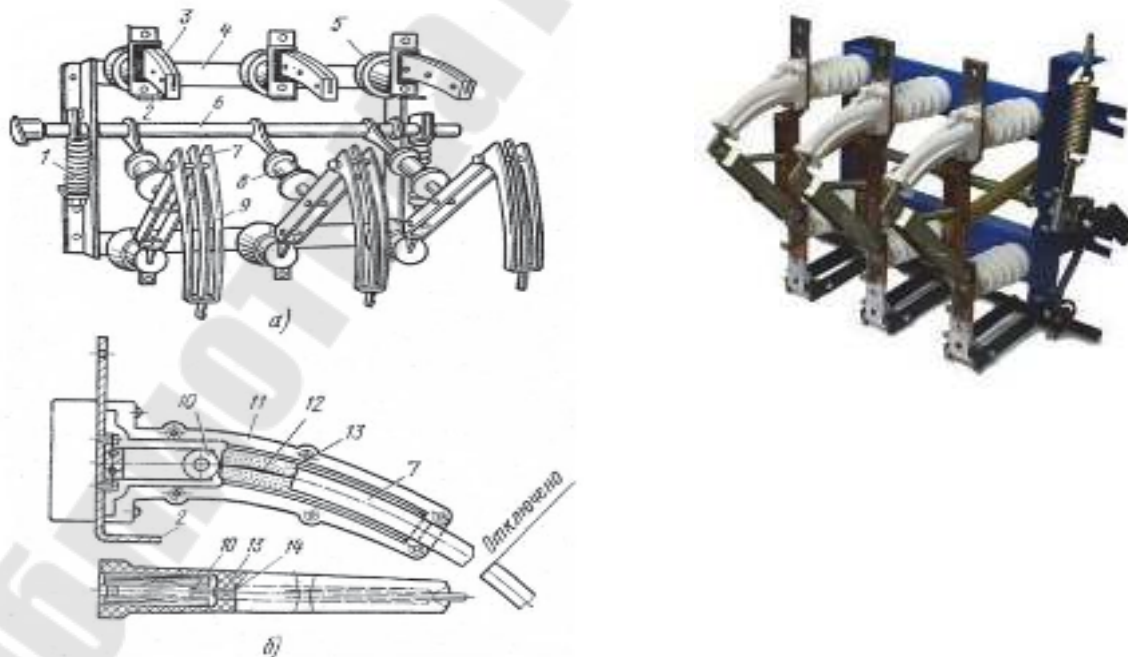


Рис.3 Устройство выключателя нагрузки.

Отключение выключателя осуществляется отключающими пружинами 7. Дугогасительная камера выполнена из двух пластмассовых щек 11, внутри которых заложены вкладыши 13 из органического стекла, образующие узкую щель 14, где движется дугогасительные контакты. Дугогасительные камеры изготавливают из пластмассы.

При отключении образующаяся между дугогасительными контактами дуга 12 вызывает интенсивное газовыделение из стенок вкладышей и давление в камере возрастает. Выход газов возможен только через щель между подвижной контакт-деталью и стенками камеры. Таким образом появляется продольное обдувание дуги и происходит ее гашение.

Отмеченные выключатели, не могут включаться на ток КЗ, равный току динамической стойкости, и допускают сравнительно малое количество отключений номинального тока.

В настоящее время эти выключатели модернизированы в серию ВН-10. Они могут снабжаться предохранителями ПК-6 или ПК-10 для защиты от токов КЗ, автоматическим устройством для отключения при срабатывании предохранителя, приводом ПРА. и заземляющими ножами.

Для установки на открытой части КТП с трансформаторами 35/6-10 кВ мощностью до 6300 кВА включительно применяется автогазовый выключатель УПС-35У1, созданный на базе предохранителя ПСН-35.

3. Порядок работы

3.1. Ознакомиться, со схемой стенда (правилами проведения измерений).

Функциональная схема лабораторной установки приведена на рис.4.

Для управления вакуумного выключателя используют кнопки SB1 и SQ1. Для включения выключателя нажимают кнопку SB1. При этом замыкаются контакты реле К1, через которые напряжение, выпрямленное с помощью диодного мостика VD1-VD4, подается на контактор КМ1, одновременно происходит включение секундомера. При замыкании контактов КМ1 подается постоянное напряжение на катушку электромагнита выключателя YAC1, в результате происходит включение выключателя. В этот момент замыкаются блок-контакты SQ6, SQ2, SQ4 (HLR показывает включенное положение выключателя), а контакты SQ3 и SQ5 размыкаются. При размыкании SQ5 происходит остановка секундомера, показания которого будут соответствовать времени включения вакуумного выключателя.

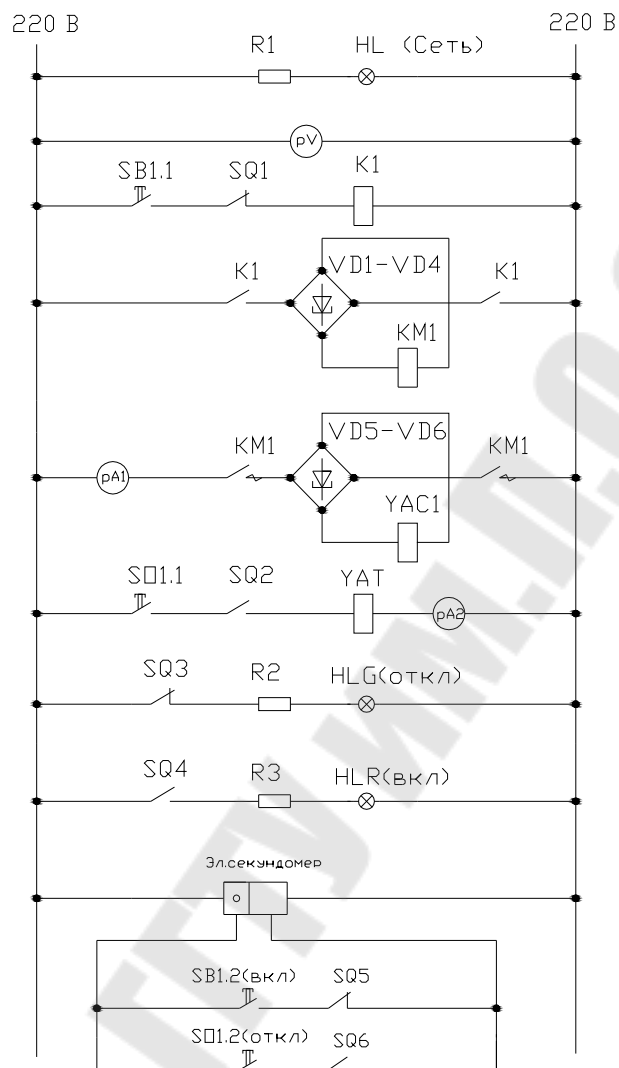


Рис.4. Схема исследования и управления вакуумным выключателем.

Отключение производится подачей напряжения (с помощью кнопки SQ1) на электромагнит отключения выключателя YA1, втягивание которого действует на подвижный контакт вакуумного выключателя, отключая его. Блок-контакты выключателя SQ5, SQ6 включены в цепи электросекундомера и предназначены для фиксации времени включения и отключения выключателя.

Перед включением стенда к питающей сети и проведению экспериментальных измерений, необходимо ознакомиться с правилами ПТБ. После измерений необходимо отключить питание из сети лабораторного стенда.

3.2. Включить в сеть лабораторный стенд (загорается лампочка «СЕТЬ»).

3.3. Определить собственное время включения и отключения выключателя. Для этого необходимо включить электросекундомер и обнулить показания. Включить вакуумный выключатель нажатием кнопки «ВКЛ». Записать собственное время включения выключателя. Для определения времени отключения необходимо обнулить показания электросекундомера и нажатием кнопки «ОТКЛ» отключить вакуумный выключатель. Зафиксировать результаты измерения. Опыт выполнить три раза и определить среднее значение собственного времени включения и отключения выключателя.

3.4. Определить значения токов включения (электромагнита УАС) и отключения (электромагнита УАТ). Для определения значения тока включения необходимо заблокировать магнитную систему включения выключателя, установкой стопора из диэлектрического материала в воздушный зазор магнитной системы и подать команду на включение. Удерживать кнопку «ВКЛ» не более 2-4 секунд, записать потребляемый ток. Для определения тока отключения необходимо заблокировать отключающее реле установкой диэлектрического стопора в воздушный зазор реле. Нажатием кнопки «Откл» и, удерживая ее в течение 2-4 секунд, определить ток отключения.

3.5. Результаты измерений отразить в отчете выполненной работы.

3.6. Закончив измерения отключить питание приборов и стенда.

4. Содержание отчета

4.1. Титульный лист (по форме согласованной на кафедре «Электроснабжение»).

4.2. Цель работы.

4.3. Краткие теоретические сведения.

4.4. Ход работы (указать функциональную схему стенда, результаты измерений).

4.5. Выводы.

5. Контрольные вопросы

1. Как устроены вакуумные и автогазовые выключатели?

2. Принцип действия выключателей (вакуумные и автогазовые).

3. Конструкция вакуумной дугогасительной камеры.

4. Условия выбора высоковольтных выключателей.

5. Области применения вакуумных выключателей.

6. Области применения выключателей нагрузки.
7. Преимущество вакуумных выключателей перед масляными выключателями.

Литература.

1. Практическое пособие к лабораторным работам по курсу «Производство электроэнергии» для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности 1-43 01 03 "Электроснабжение" и 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети». Бохан А.Н., Гомель, 2010.
2. Практическое пособие к выполнению лабораторной работы: «Исследование характеристик и схемы дистанционного управления вакуумного выключателя» по курсу «Электрическая часть станций и подстанций» для студентов кафедры «Электроснабжение» дневного и заочного отделения. Бохан А.Н., Гомель, 2009
3. Электрическая часть станций и подстанций/ под ред. А. А. Васильева - М.: Энергоатомиздат, 1990.
4. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Методические указания к лабораторным занятиям по курсу "Электрические станции и подстанции систем электроснабжения (часть 3) для студентов спец.0303/А.Н.Бохан, Г.И. Селиверстов. - Гомель. ГПИ.

Лабораторная работа №2

Измерительные трансформаторы напряжения

1. Цель работы.

Изучение назначения, конструкций и схем соединения измерительных трансформаторов напряжения.

2. Теоретические сведения.

Трансформаторы напряжения предназначены для понижения высокого напряжения до стандартного значения 100, $100/\sqrt{3}$ и $100/3$ В и для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения.

По принципу устройства, конструкции и схеме включения трансформаторы напряжения представляют собой силовой трансформатор небольшой мощности (25-500 ВА), работающий в режиме близком к режиму холостого хода.

Основными параметрами трансформаторов напряжения являются следующие:

1. Номинальное напряжение трансформатора равно номинальному напряжению первичной обмотки $U_{1НОМ}$.

2. Номинальный коэффициент трансформации k_T - это отношение номинального первичного напряжения $U_{1НОМ}$ ко вторичному $U_{2НОМ}$:

$$k_T = \frac{U_{1НОМ}}{U_{2НОМ}} \quad (1.1)$$

3. Погрешность. Для идеального трансформатора напряжения (без потерь) $k_T \cdot U_{2НОМ} = U_{1НОМ}$. У реальных трансформаторов напряжения напряжение $k_T \cdot U_2 = U_2'$ (рис. 1) отличается от первичного напряжения U_1 не только по величине, но и сдвинуто относительно его на угол δ . Это приводит к погрешностям в измерениях.

Погрешность по напряжению:

$$\Delta U, \% = \frac{k_T \cdot U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

Угловая погрешность $\delta = \text{tg} \delta$, рад.

Обе погрешности трансформатора напряжения зависят от магнитного сопротивления его сердечника (которое, в свою очередь, зависит от качества стали, площади поперечного сечения, тщательности выполнения шихтовки и т.п.), от сопротивления первичной и вторичной обмоток и от величины вторичной нагрузки. В конструкции трансформаторов напряжения предусматривается компенсация по-

грешности по напряжению путем некоторого уменьшения числа витков первичной обмотки, а также компенсация угловой погрешности за счет специальных компенсирующих обмоток.

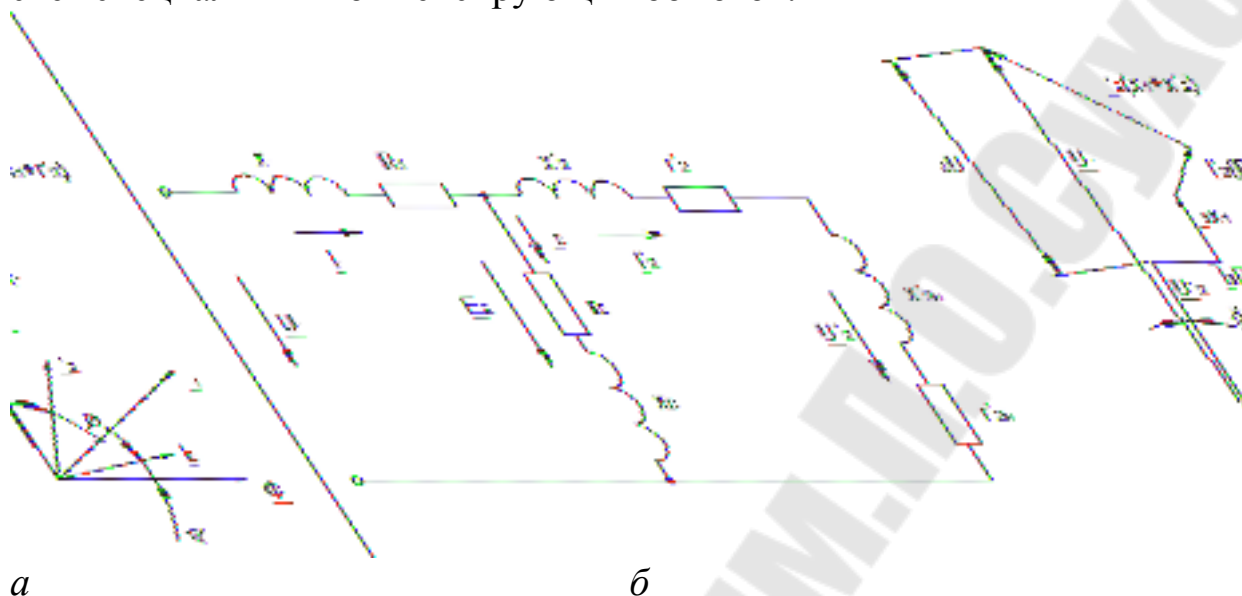


Рис.1. Схема замещения (а) и векторная диаграмма (б) трансформатора напряжения

Трансформаторы класса 0,2 применяются в качестве образцовых и для точных измерения, класса 0,5 - для питания счетчиков денежного расчета; класса 1 и 3- для присоединения щитовых приборов и релейной защиты.

4. Номинальная вторичная нагрузка. Ток во вторичной обмотке определяется сопротивлением нагрузки Z_2 :

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_2}, \text{ а вторичная мощность } S_2 = U_2 \cdot I_2 = \frac{U_2^2}{Z_2} - \text{ это наибольшая мощность в заданном классе точности.}$$

Суммарное потребление обмоток измерительных приборов и реле, подключаемых к вторичной обмотке трансформатора напряжения не должна превышать его номинальную мощность, так как в противном случае это приведет к увеличению погрешностей.

5. Конструкция трансформаторов напряжения. Трансформатор напряжения состоит из магнитопровода, первичной А-Х и вторичной а-х обмоток (одной или двух), бака или кожуха, ввода высокого напряжения, коробки выводов низкого напряжения. Различают трехфазные и однофазные трансформаторы напряжения. Трехфазные трансформаторы применяют на напряжение до 18 кВ включительно, однофазные - на все стандартные напряжения.

По типу изоляции трансформаторы напряжения изготавливают: сухие, масляные и элегазовые. Роль изоляции выполняет также эпоксидная смола (литые трансформаторы), фарфор.

Трансформаторы с сухой изоляцией НОС, НОСК, НТС, НТСК предназначены для внутренней установки напряжением до 6 кВ. Трансформаторы с литой изоляцией ЗНОЛ, НОЛ применяются на напряжение 3-35 кВ в комплектных распределительных устройствах наружной установки.

Трансформаторы с масляной изоляцией НОМ, НТМИ, ЗНОМ, НКФ применяются на напряжение 6-1150 кВ. В этих трансформаторах обмотки и магнитопровод помещены в металлический бак (до 35 кВ) или фарфоровый корпус (110 кВ и выше) и залиты трансформаторным маслом, которое служит для изоляции и охлаждения.

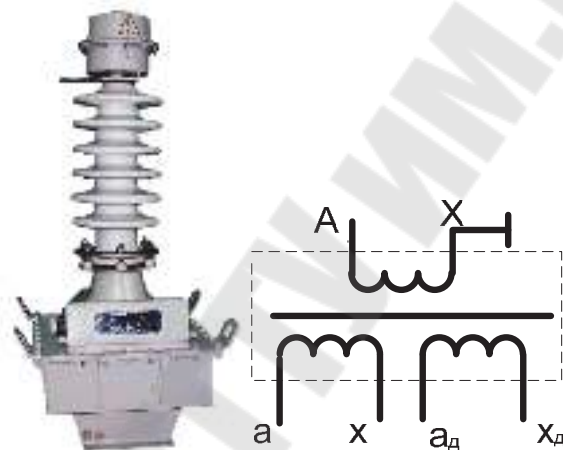


Рис.2. Внешний вид и схема трансформатора напряжения ЗНОМ-35

Трансформаторы с элегазовой изоляцией ЗНОГ применяются в комплектных распределительных устройствах 110 и 220 кВ. В этих трансформаторах металлический корпус, где размещён бронированный магнитопровод с обмотками, заполнен элегазом и герметически закрыт.

Маркировка трансформаторов напряжения: 0- однофазный, Т-трехфазный, М - масляный, С - сухой, Л – литой, Г- газовый, З - с заземленным высоковольтным выводом, И - для измерительных цепей, К - с компенсирующей обмоткой для уменьшения угловой погрешности (для трансформаторов меньше 35 кВ) и К - каскадный (для каждого НКФ-110 кВ и выше), Ф – фарфоровый корпус.

Трансформаторы типа НТС, НТСК, НОС, НОМ, НОЛ - двухобмоточные и предназначены измерения линейных напряжений. Схемы их соединения приведены на рис.3,4 а, б.

Трансформаторы типа ЗНОЛ, ЗОМ, ЗНОЛ, ЗНОГ, НТМИ - трех-обмоточные, магнитопровод их бронированный (Ш-образный), а один вывод первичной обмотки заземлен. Дополнительная вторичная обмотка служит - для контроля изоляции в сетях с изолированной нейтралью, а в сетях с глухозаземленной нейтралью для релейной защиты. Схема соединения трансформаторов приведена на рис.3б.

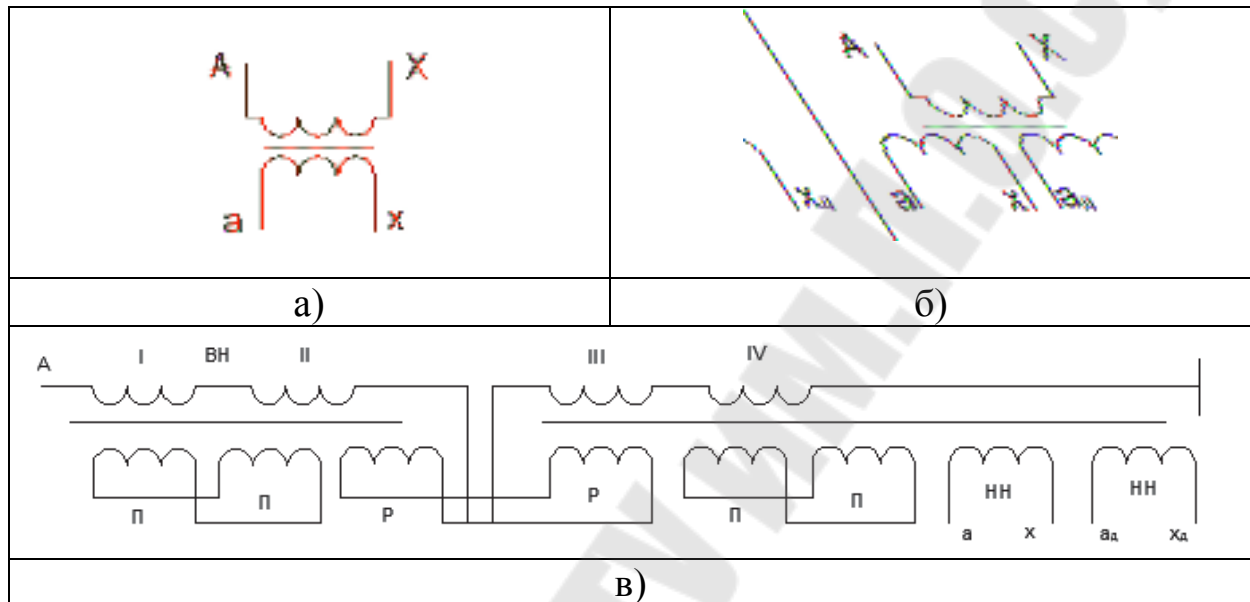


Рис. 3. Трансформаторы напряжения однофазные:
a – НОМ, НОЛ, НОС; *б* – ЗОМ, ЗНОМ, ЗНОГ; *в* - НКФ-220.



Трансформатор напряжения типа
 НКФ-220



Трансформатор напряжения типа
 НОМ - 10



ЗНОМ-35



НОС- 6



НТМИ -10

В сетях 110 кВ и выше широкое применение получили однофазные трехобмоточный трансформаторы типа НКФ. Эти трансформаторы состоят из нескольких каскадов, каждый из которых рассчитан на часть номинального напряжения. Такая конструкция позволяет уменьшить размеры и вес. На рис. 4в приведена схема и внешний вид НКФ-220 из двух каскадов. Каждый каскад представляет собой двухстержневой сердечник.

Обмотка высокого напряжения (ВН) распределена равномерно на четырех стержнях. Обмотки низкого напряжения (НН) - основная и дополнительная расположены на нижнем стержне второго элемента. Для равномерного распределения нагрузки между каскадами служат обмотки Р (связи) и П (выравнивающая). Оба каскада крепятся к основанию на изоляционных стойках, сверху устанавливается фарфоро-

вый кожух, заливается трансформаторным маслом и закрывается крышкой.

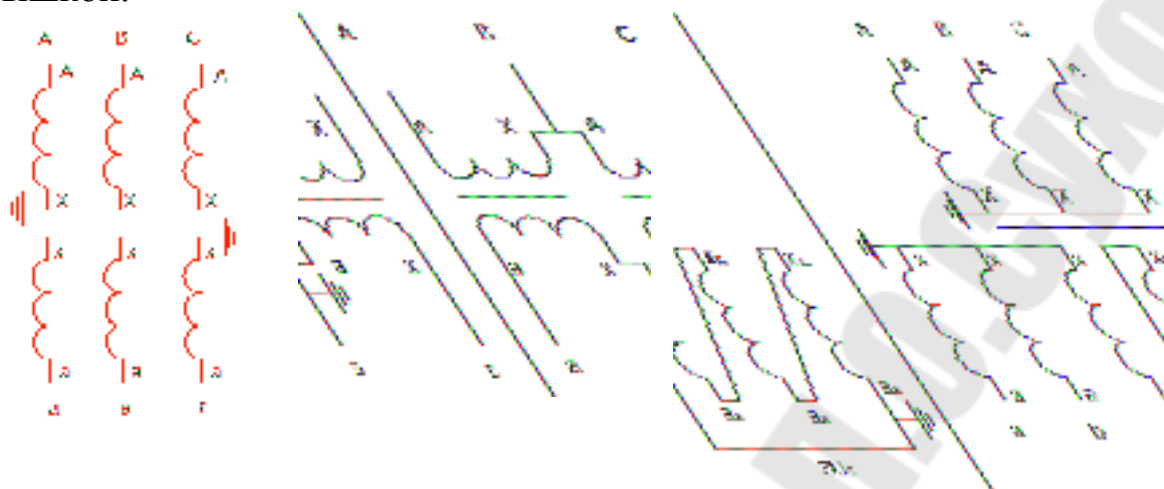


Рис. 4. Схема включения трансформаторов напряжения:
а - НТС, НТСК, НТМК; б – НОС, НОМ, НОК, НОЛ;
в - ЗОМ, ЗНОМ, ЗНОГ, НТМИ, НКФ.

Трансформаторы напряжения НКФ-220, НКФ-330 и НКФ-500 состоят соответственно из четырех, шести и восьми элементов. В сеть включаются по схеме, приведенной на рис.3 в.

Кроме трансформаторов типа НКФ в установках 500-1150 кВ для измерения напряжения применяются устройства НДЕ (напряжения, делитель, емкостной). Конденсатор C_2 устройства (рис.5) подключается последовательно с высокочастотными конденсаторами связи C_1 . Напряжение, снимаемое с C_2 , подается в измерительные цепи через трансформатор Т с двумя вторичными обмотками.

Для практического изучения трансформаторов напряжения рассмотрим режим работы нейтралей электроустановок.

Схема включения трансформаторов напряжения с двумя вторичными обмотками показана на рис. 3 в. Первичные и основные вторичные обмотки соединены в звезду. Дополнительные вторичные обмотки соединены по схеме разомкнутого треугольника. Основная вторичная обмотка позволяет измерять фазные и линейные напряжения в сети. Дополнительная обмотка применяется для устройства сигнализации от замыканий на землю в сети с изолированной нейтрально или для защиты от замыканий на землю в сети с заземленной нейтралью.

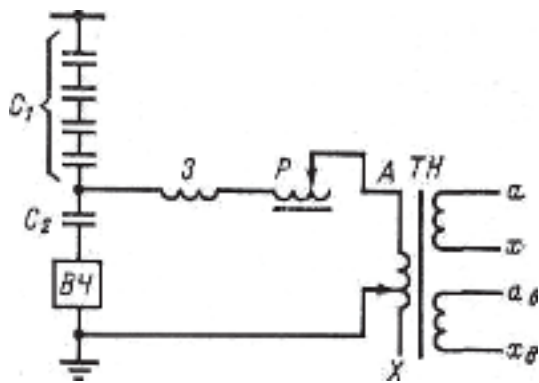


Рис.5. Принципиальная схема устройства НДЕ:

C_1 — конденсаторы связи; C_2 - конденсатор отбора; ВЧ -искровой промежутки; P -реактор; TH - трансформатор напряжения 15 кВ

Дополнительная обмотка соединенная в разомкнутый треугольник суммирует напряжения всех трех фаз. При нормальной работе сети, в которой включен трансформатор напряжения, эта сумма равна нулю. Это видно из векторных диаграмм (рис. 6), где U_{-A}, U_{-B}, U_{-C} векторы фазных напряжений, а $U_{-aq}, U_{-bq}, U_{-cq}$ - векторы напряжений на дополнительных вторичных обмотках. Результирующее напряжение $3 \cdot U_{-0}$ между концом обмотки фазы c и началом обмотки фазы a на диаграмме равно нулю.

Трансформаторы, напряжения с двумя вторичными обмотками предназначены не только для питания измерительных приборов и реле, но и для работы в устройстве сигнализации замыканий на землю в сети с изолированной нейтралью или защиты от замыканий на землю в сети с заземленной нейтралью.

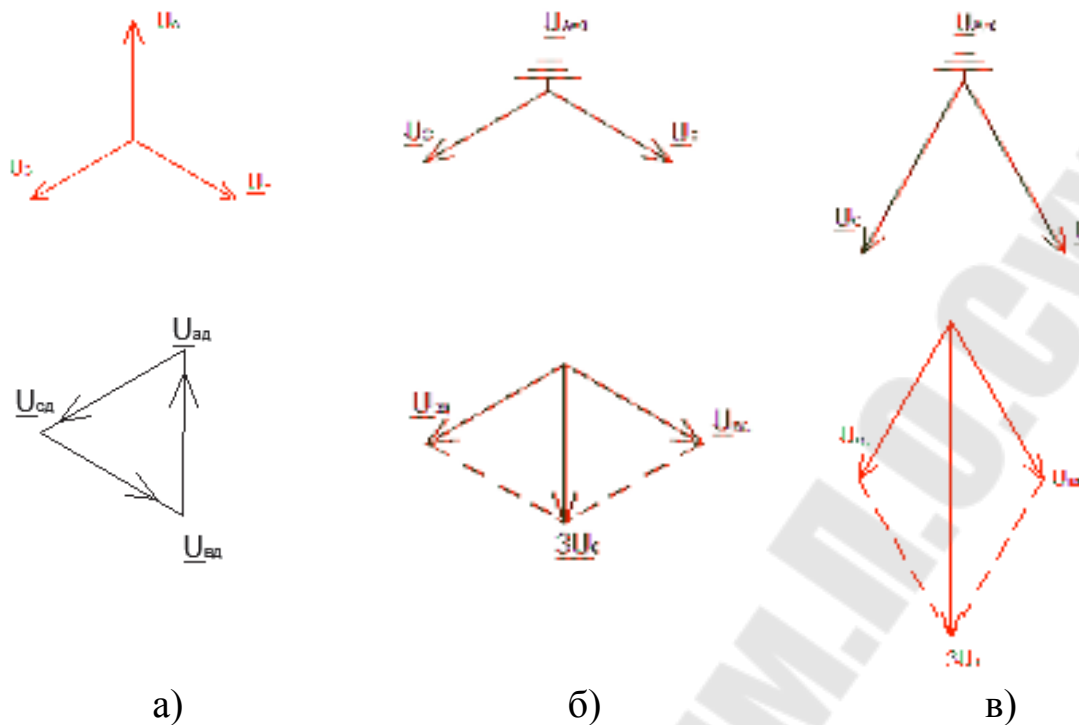


Рис. 6. Векторные диаграммы напряжения (фазные и линейные) первичной и вторичной дополнительной обмоток.

а - нормальный режим; б - замыкание на землю в сети с заземленной нейтралью; в - замыкание на землю в сети с изолированной нейтралью.

На рис.6 б построен вектор $3 \cdot U_{-0}$ при замыкании на землю фазы А в сети с заземленной нейтралью вблизи места установки трансформатора напряжения (при этом значение $3 \cdot U_{-0}$ наибольшее). Векторы U_{-B} и U_{-C} - фазные напряжения неповрежденных фаз, приложенные к первичным обмоткам трансформатора напряжения. В месте однофазного короткого замыкания (к.з.) напряжение поврежденной фазы равно нулю, и первичная обмотка трансформатора напряжения этой фазы закорочена. Поэтому вектор U_{-A} на диаграмме отсутствует. Вектор $3 \cdot U_{-0}$ получен в результате сложения векторов напряжения вторичных дополнительных обмоток фаз В и С (векторы U_{-bq} и U_{-cq}), совпадающих по фазе с векторами U_{-B} и U_{-C} .

На рис. 6 в приведены векторные диаграммы при замыкании на землю фазы А в сети с изолированной нейтралью. При этом к.з. не возникает, и векторы линейных напряжений сети U_{-AB} , U_{-BC} , U_{-CA} оста-

ются симметричными. Так как фаза C - заземлена (условно показано на векторной диаграмме) напряжения фаз B и C относительно земли при этом равны линейным напряжениям. Эти линейные напряжения U_{-B-3} и U_{-C-3} и будут подаваться на первичные обмотки фаз B и C трансформатора напряжения, поскольку его нейтраль заземлена. Напряжение на первичной обмотке фазы A трансформатора будет равно нулю, так как она закорочена. Вектор $3 \cdot U_{-0}$ построен как сумма векторов напряжений U_{-bq} и U_{-cq} , совпадающих по фазе с векторами напряжений первичных обмоток U_{-B} и U_{-C} . Вектор $3 \cdot U_{-0}$ делит пополам угол 60° и в построенном параллелограмме образуется два равных равнобедренных треугольника с углами при основании по 30° , откуда следует, что $3 \cdot U_{-0} = \sqrt{3} \cdot U_{-bq} = \sqrt{3} \cdot U_{-cq}$.

Так как напряжения U_{-bq} и U_{-cq} , равные в нормальном режиме фазным напряжениям (рис. 5 в) увеличились до линейных ($U_{-bq} = U_{-cq} = \sqrt{3} \cdot U_{-\phi}$), то $3 \cdot U_{-0} = 3 \cdot U_{\phi}$ т.е. в сети с изолированной нейтралью максимальное значение $3 \cdot U_{-0}$ равно утроенному фазному напряжению.

Номинальное напряжение дополнительных вторичных обмоток устанавливается таким образом, чтобы максимальное значение напряжения $3 \cdot U_{-0}$ (на разомкнутом треугольнике) при однофазном замыкании на землю в сети, когда линейное напряжение соответствует номинальному напряжению трансформатора напряжения, было 100 В.

Так как первичные обмотки трансформаторов напряжения с двумя вторичными обмотками включаются на фазное напряжение, напряжения их вторичных обмоток в нормальном режиме тоже фазные. При однофазном замыкании на землю в сети с заземленной нейтралью $3 \cdot U_{0\text{макс}} = U_{\phi}$, а в сети с изолированной нейтралью $3 \cdot U_{0\text{макс}} = 3 \cdot U_{\phi}$. Соответственно для дополнительных обмоток трансформаторов напряжения, предназначенных для сети с заземленной нейтралью, установлено $U_{\text{ном}} = 100 \text{ В}$, а для сети с изолированной нейтралью $U_{\text{ном}} = 100/3 \text{ В}$.

В цепи первичной обмотки трансформаторов напряжения до 35 кВ, как правило, устанавливаются предохранители. Назначение этих предохранителей обеспечивать сохранение в работе шин или других первичных цепей, к которым подключен трансформатор напряжения

при к.з. на его ошиновке или вводах ВН. Ток к.з. при повреждениях в цепи вторичной обмотки и даже на ее выводах во многих случаях имеет значение, недостаточное для сгорания этих предохранителей, вследствие чего сам трансформатор напряжения ими не защищается.

В тех случаях, когда возникновение к.з. цепи первичной обмотки маловероятно или последствия такого к.з. не представляют особой опасности для электроснабжения потребителей, предохранители на стороне ВН трансформатора напряжения не устанавливаются. Так, в комплектных токопроводах мощных генераторов трансформаторы напряжения включаются без предохранителей.

3. Описание лабораторной установки.

Лабораторная установка включает в себя трансформаторы напряжения НОМ-6, НТМИ-10 и два лабораторных стенда.

На первом стенде приведены схемы для проверки полярности обмоток трансформаторов НОМ-6, НТМИ-10, схема для определения коэффициента трансформации трансформатора НОМ-6, измерительные вольтметры, клеммы для присоединения миллиамперметра (гальванометра).

На втором стенде показана принципиальная электрическая схема одной секции распределительного устройства 10 кВ главной понижающей подстанции ГПП 220/10 кВ. Для контроля изоляции этой сети используется трансформатор НТМИ-10 с отмотанными витками обмотки высокого напряжения ($U_{\text{ннво}} = 200 \text{ В}$).

На стенде установлены вольтметры для измерения фазных, линейных напряжений и напряжения нулевой последовательности, тумблеры S_N имитирующие выключатель низкого напряжения силового трансформатора 220/10 кВ и повреждения в сети. На стенде смонтирована предупредительная сигнализация. Звонок предупредительной сигнализации отключают кнопкой S_{BI} . Световая сигнализация снимается возвратом тумблера "повреждение" в исходное положение.

Переменное напряжение 220В для питания первого стенда и напряжение 380В для питания второго стенда подводится с помощью штепсельных разъемов.

4. Правила техники безопасности при выполнении работы.

При выполнении лабораторной работы соблюдать инструкцию по технике безопасности при работе в лаборатории "Электрические станции и подстанции".

Запрещается: одновременное включение двух и более тумблеров S_N , имитирующие повреждения в сети; подавать напряжение на низкую обмотку трансформатора напряжения НОМ-6 при определении его коэффициента трансформации.

5. Содержание работы.

1. Изучить конструкции трансформаторов напряжения наружной и внутренней установки, схемы соединения трансформаторов напряжения разных типов.

2. Проверить полярность обмоток трансформаторов напряжения и определить коэффициент трансформации одного из них.

3. Ознакомиться со схемой контроля изоляции в сети с изолированной нейтралью с использованием трансформатора напряжения.

6. Порядок выполнения работы.

1. Изучить конструкции и схемы соединения трансформаторов напряжения наружной и внутренней установки на образцах, представленных в работе, по рекомендованной литературе. Технические характеристики образцов, представленных в лаборатории, записать в виде таблицы 1.

Таблица 1

Тип	Номинальное напряжение обмотки			Номинальная мощность VA в классе точности				Максимальная мощность VA
	первичной, кВ	основной вторичной, В	дополнительной, В	0,2	0,5	1	3	

2. Проверить полярность обмоток трансформаторов напряжения.

Проверка полярности заключается в определении правильности присоединения обмоток трансформатора напряжения к выводам ВН и НН. Проверка однофазного двухобмоточного трансформатора производится по схеме (рис.7).

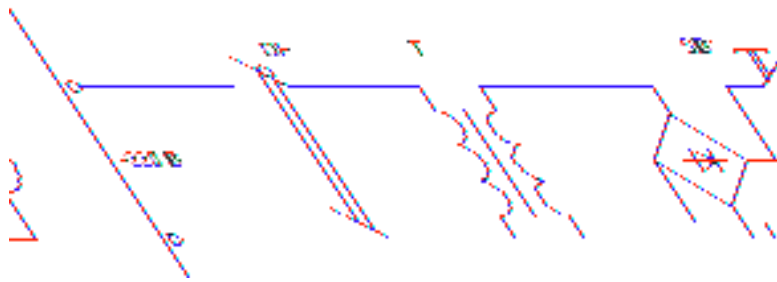


Рис.7 Схема проверки полярности однофазного трансформатора напряжения

К зажиму (а) обмотки НН трансформатора напряжения присоединяется "плюс" гальванометра, затем "минус" прибора присоединяется к зажиму (х) трансформатора напряжения. К зажиму (А) обмотки ВН подключается "плюс", а к зажиму (Х) - "минус" выпрямительного блока. При замыкании на мгновение кнопки SB_1 подается импульс в обмотку ВН, который трансформируется в обмотку НН. Стрелка гальванометра при подаче такого импульса должна отклониться вправо.

Коэффициент трансформации проверяется по схеме, показанной на рис.8.

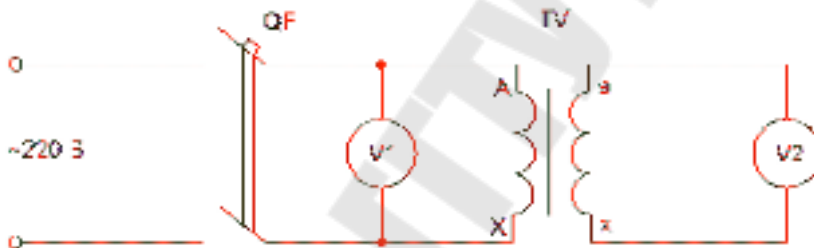


Рис.8. Схема для проверки коэффициента трансформации трансформатора напряжения

Коэффициент трансформации трансформатора напряжения определяется как отношение первичного напряжения U_1 ко вторичному

$$U_2, \text{ т.е. } k = \frac{U_1}{U_2}$$

Для проверки полярности пятистержневого трансформатора напряжения (рис.9) достаточно пересоединить "плюс" выпрямительного блока и гальванометра на соответствующую фазу трансформатора (А, В, С) и (а, в, с).

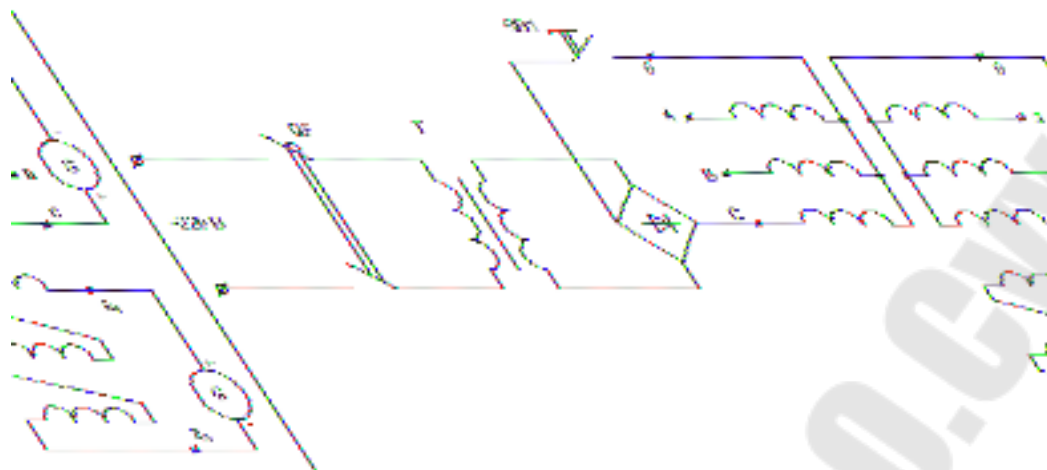


Рис.9 Схема проверки полярности и правильности обозначения выводов трансформаторов напряжения.

Постоянный ток от полюса "плюс" выпрямительного блока должен подаваться в первичные обмотки фаз А, В, С, а от полюса "минус" через кнопку SB_1 (должен постоянно подключаться к нулевому выводу (0) первичной обмотки трансформатора напряжения). Гальванометр должен постоянно быть подключен "минусом" к нулевому выводу (0) вторичной обмотки, а "плюсом", соответственно, подключаться к выводам (а, в, "с).

3. Для ознакомления со схемой контроля изоляции в сети с изолированной нейтралью используется схема, приведенная на рис.10.

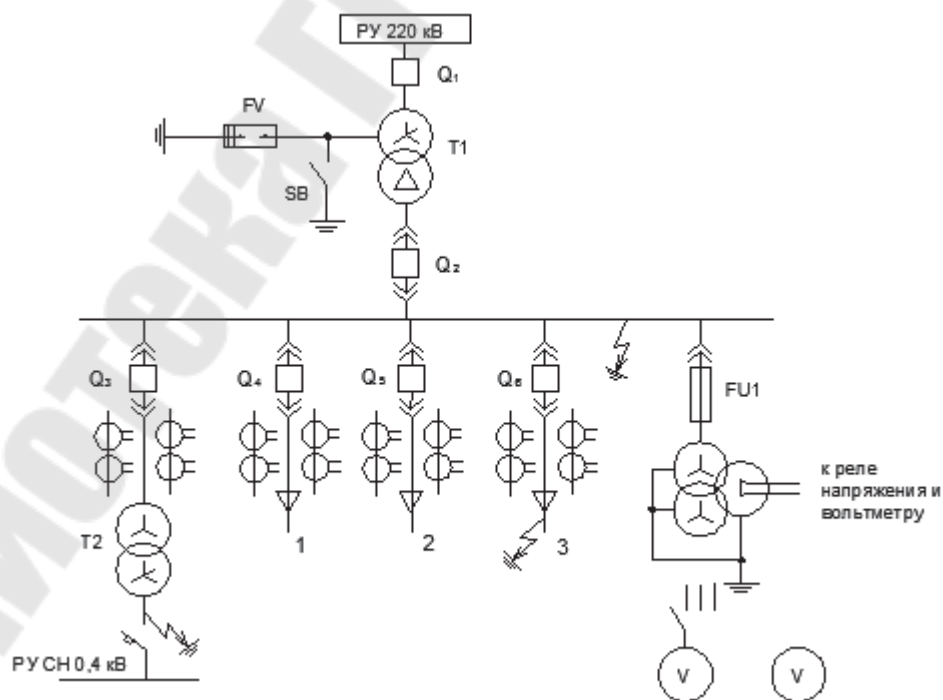


Рис. 10. Принципиальная схема для исследования устройства контроля изоляции на понижающей подстанции.

При исследовании режима сети и работы трансформатора напряжения анализируются показания приборов в нормальном режиме работы сети, при замыкании одной фазы сети, замыкании одной фазы на участке сети, отделенной электромагнитной связью (на выводах трансформатора собственных нужд ТСН Т2) и при перегорании предохранителя ПКТ одной фазы.

Замыкание на землю в различных точках сети имитируются включением тумблеров SN_2, SN_3, SN_4 , перегорание предохранителя в одной фазе цепи питания трансформатора напряжения - SN_5 .

Последовательность исследования режима электрической сети и работы трансформатора напряжения:

- подключить вольтметры к трансформатору напряжения;
- проверить отключенное положение всех тумблеров;
- подать питание на установку;
- поочередно включить "повреждения" и результаты измерений записать в таблицу 2.

По данным измерений (таблица 2) построить векторные диаграммы для исследования режимов.

Таблица 2

Режим работы сети	Напряжение						
	Фазное, кВ			Линейное, кВ			В разомкнутом треугольнике, кВ
Поврежден изолятор шин РУ-10кВ ГПП (SN_2)							
Поврежден кабель фидера 3 (SN_3)							
Повреждение на выводах ТСН (SN_4)							
Перегорел ПКТ (FU1) фазы А (SN_5)							

7. Содержанке отчета.
 1. Цель работы.
 2. Таблица с техническими характеристиками трансформаторов напряжения, представленных в лаборатории.
 3. Схемы и результаты проверки полярности обмоток и коэффициента трансформации трансформаторов напряжения.
 4. Схема контроля изоляции в сети с изолированной нейтралью, результаты исследования режимов ее работы – таблица 2 и векторные диаграммы режимов электрической сети (по таблице 2).
 5. Выводы по работе.

8. Контрольные вопросы.
 1. Назначение трансформаторов напряжения.
 2. Основные параметры трансформаторов напряжения.
 3. Схемы замещения, векторная диаграмма и типы изоляции трансформаторов напряжения.
 4. Конструктивное исполнение однофазных двухобмоточных, одно-фазных трехобмоточных, двухобмоточных трехфазных трансформаторов напряжения.
 5. Конструктивное исполнение каскадных трансформаторов напряжения, устройства НДЕ.
 6. Схемы соединения трансформаторов напряжения, область их применения.
 7. Как классифицируются электроустановки в зависимости от режима работы нейтрали?
 8. Область применения сетей с изолированной, компенсированной и глухозаземленной нейтралью.
 9. Достоинства и недостатки сетей с изолированной нейтралью.
 10. Почему в сетях с изолированной нейтралью должен применяться контроль изоляции?
 11. Чему равно напряжение на выводах разомкнутого треугольника в нормальном режиме и при замыкании одной из фаз на землю?
 12. Объясните результаты выполненных исследований.

Литература.

1. Методические: указания к лабораторным занятиям по курсу "Электрические станции и подстанции систем электроснабжения (часть 3) для студентов спец.0303/А.Н.Бохан, Г.И. Селиверстов. - Гомель. ГПИ.

2. Электрическая часть станций и подстанций/Под ред. А.Васильева.-М. :Энергоатомиздат, 1990.

3. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций.-М.:Энергоатомиздат,1987.

4.Электрические аппараты высокого напряжения. / Под ред. Г.Н.Александрова. - Л.: Энергватомиздат Ленингр. отд-ние, 1989.

5. Неклепаев Б.Н., Крючков М.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 1989.

Лабораторная работа №3
Измерительные трансформаторы тока

1. Цель работы

Изучить назначение, устройство в режимы работы трансформаторов тока. Ознакомиться с основными конструкциями трансформаторов тока, схемами их соединения и испытаниями.

2. Теоретические сведения

Трансформаторы тока (ТТ) предназначены для уменьшения первичного тока до стандартных величин измерительных приборов и реле (5 или 1А) и для гальванического разделения вторичных цепей измерения и релейной защиты от первичных высоковольтных цепей. В некоторых случаях ТТ служат для питания электромагнитов отключения приводов выключателей.

Трансформатор тока состоит из сердечника, набранного из листовой электротехнической стали и двух изолированных друг от друга обмоток - первичной и вторичной. Первичную обмотку ТТ включают последовательно в высоковольтную цепь, а ко вторичной обмотке, тоже последовательно, подсоединяют измерительные приборы и реле.

Для непосредственного отсчета величины измеряемого тока, измерительные приборы (амперметры, ваттметры и т.п.) градуируются с учетом номинального коэффициента трансформации ТТ:

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{I_{н1}}{I_{н2}} \quad (1.1)$$

где: $w_1; w_2$ - число витков первичной и вторичной обмоток; $I_{н1}; I_{н2}$ - номинальный первичный и вторичный ток.

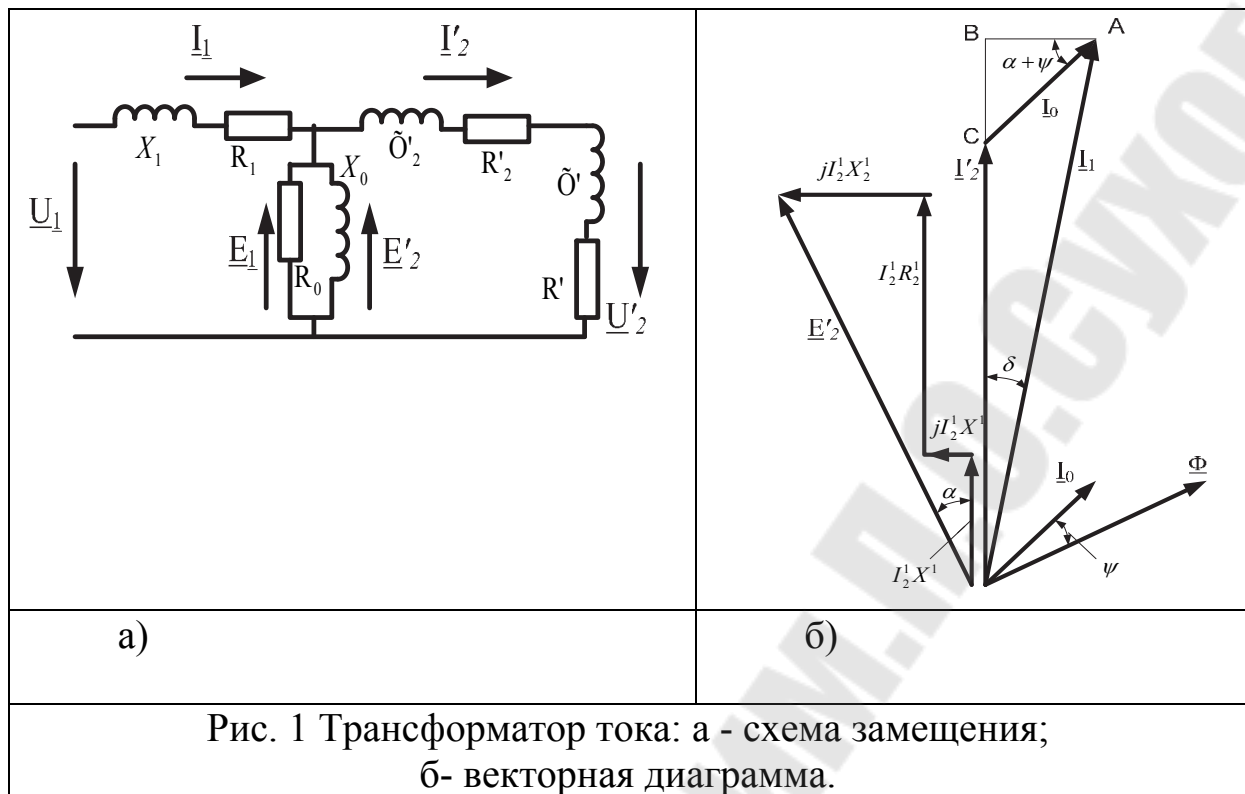
Выражение справедливо лишь для идеального трансформатора, ток намагничивания у которого отсутствует. В реальном ТТ пропорциональность между первичным и вторичным токами нарушена (рис.1а).

$$I_{-1} = I'_{-2} + I_{-0} \quad (1.2)$$

где $I'_{-2} = k_{ТА} \cdot I_{-2}$ - вторичный ток, приведенный к первичному;

I_{-0} - ток намагничивания.

Из векторной диаграммы (рис. 1б) видно, что отсчитываемый по прибору ток $k_{ТА} I_2$, отличается от действительного первичного тока I_1 , не только по величине, но и сдвинут относительно его на угол отличный от 180° . Это значит, что наличие тока намагничивания вносит в измерения погрешности по модулю и по углу.



Погрешность по модулю (токовая погрешность)

$$\Delta I = \frac{k_{TA} \cdot I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100\% = \frac{I_0 \sin(\alpha + \varphi)}{I_1} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

Величина угловой погрешности:

$$\delta \approx \frac{I_0}{I_1} \cos(\alpha + \varphi), \text{ рад} \quad (1.4)$$

Величина погрешности ТТ зависит от его конструктивных данных (размеров и материала сердечника), от величины вторичной нагрузки (сопротивления обмоток приборов и реле, сопротивления проводов и контактов) и от кратности действительного тока первичной цепи и номинальному току первичной обмотки $\frac{I_1}{I_2}$ (при первичном токе, значительно меньшем номинального, погрешность возрастает).

Величины погрешностей определяют класс точности работы ТТ (таблица 1).

Обмотки на сердечнике ТТ располагаются так, чтобы намагничивающая сила (н.с.) F_2 вторичной обмотки была направлена встречно н.с. F_1 первичной обмотки (см. рис.1). В результате н.с. F_0 в сердечнике невелика (доли процента от F_1) и напряжение на зажимах вторичной обмотки составляет единицы вольт. Если еще учесть, что

токовые цепи приборов и реле имеют малое сопротивление, то, по существу, ТТ работает в режиме короткого замыкания.

При размыкании вторичной цепи размагничивающая вторичная н.с. F_2 пропадает. Поскольку ток в первичной цепи остается неизменным, то первичная н.с. будет и намагничивающей ($F_0 = F_1$). Сердечник насыщается. В нем возрастают активные потери, он нагревается, в результате чего возможно воспламенение изоляции обмотка. Кроме этого, резко увеличивается э.д.с. E_2 (достигает тысяч Вольт), что представляет опасность для обслуживающего персонала и изоляция вторичных цепей. Поэтому вторичные обмотки ТТ должны быть всегда замкнуты на реле, приборы или закорочены.

Таблица 1

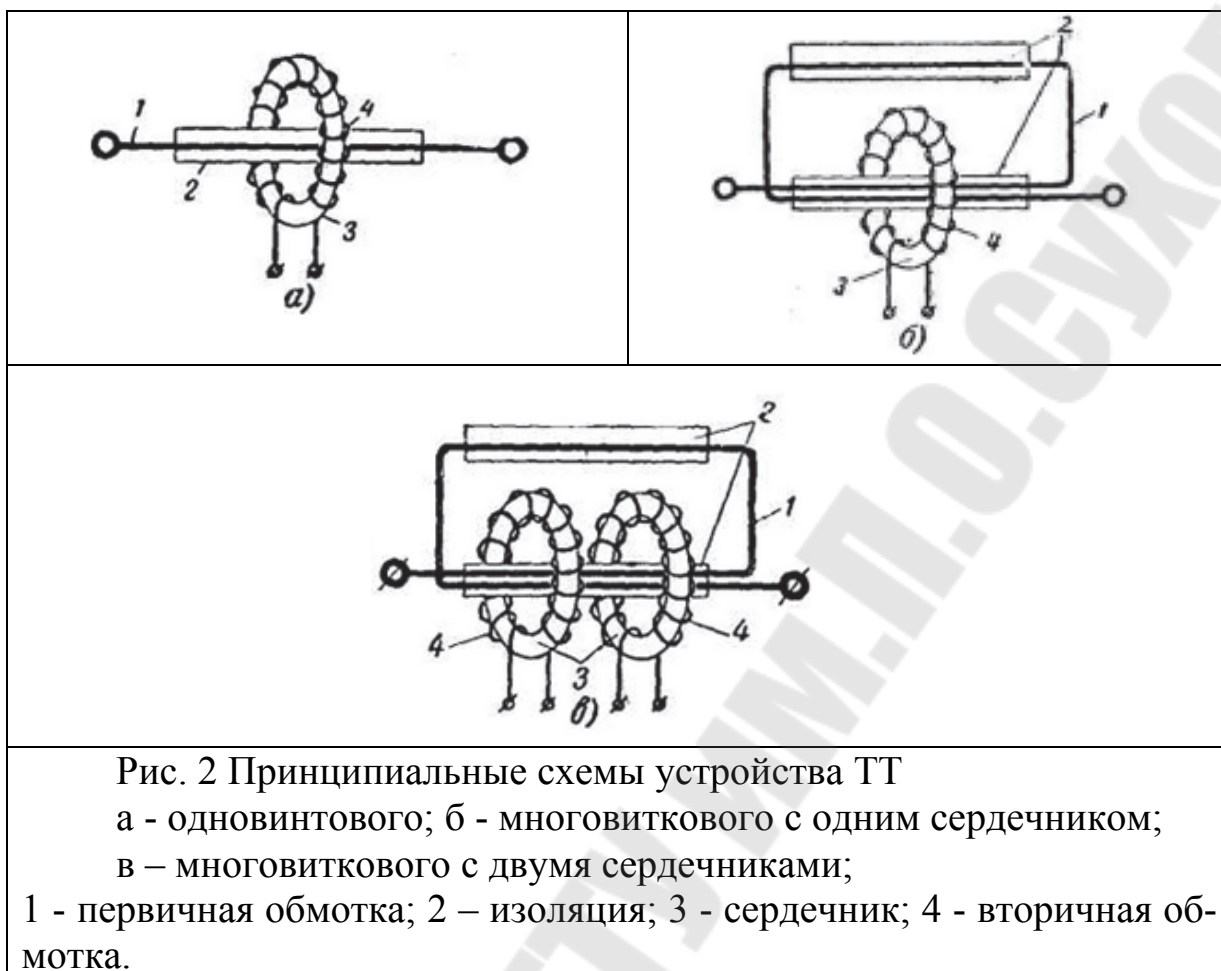
Величины погрешностей и классы точности

Класс точности сердечника	Допустимая погрешность по току, %	Допустимая погрешность по углу, мин.	Область применения ТТ
0,2	$\pm 0,2$	$\pm 10,0$	точные лабораторные измерения
0,5	$\pm 0,5$	$\pm 40,0$	приборы учета электроэнергии (счетчики)
1,0	$\pm 1,0$	$\pm 80,0$	все типы защиты и щитовые приборы
3,0	$\pm 3,0$	не нормир.	токовые защиты и амперметры
Д; Р	$\pm 10,0$	не нормир.	специальные для дифференциальной защиты

Конструкции трансформаторов тока (рис.2).

ТТ можно классифицировать по следующим признакам:

- род установки (внутренний, наружный);
- способ установки (опорные, проходные, встроенные);
- тип изоляции (эпоксидная смола, фарфор, трансформаторное масло);
- количество витков первичной обмотки (одно- и многовитковые);
- количество вторичных обмоток (сердечников) от 1 до 5.



Каждый ТТ обозначен буквенной маркой, первичным напряжением, первичным и вторичным током и классом точности. Например, ТПЛ-10- 400/5 А, 0,5/Р (рис.3,4):



Рис 3. ТПЛ-10; Т - трансформатор тока, П - петлевой, Л - литая изоляция, 10 - напряжение первичной цепи в кВ; 400/5- номинальный первичный и вторичный ток в А; 0,5/Р – два сердечника - один класса 0,5, второй - Р. Начало и конец первичной обмотки обозначается Л1 и Л2, вторичной – И1 и И2.

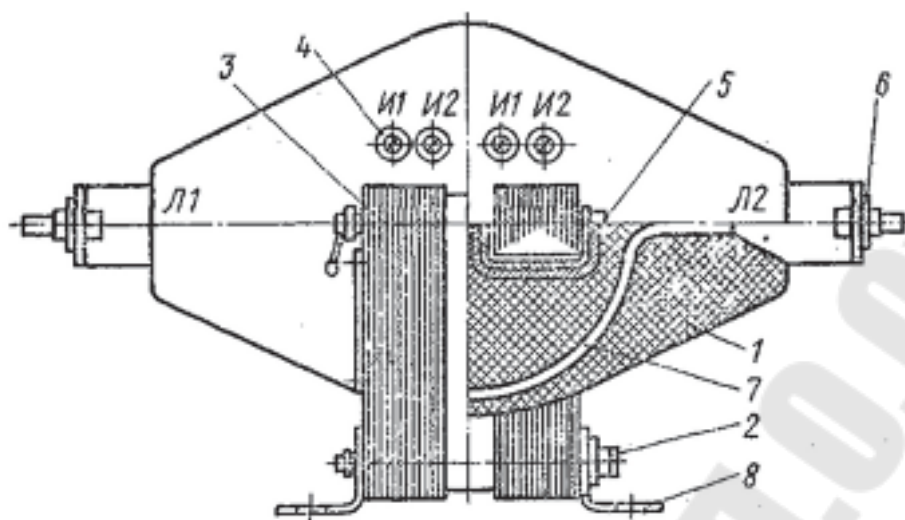


Рис.4 Многовитковые трансформаторы тока: ТПЛ-10

1- корпус, 2 - болт заземления, 3 - сердечник (магнитопровод), 4 - винт, 5,7 - вторичная и первичная обмотки, 6 - контактные пластины, 8 - угольник.

ТТ внутренней установки изготавливаются на напряжение 0,4-35 кВ: многовитковые - на токи до 1600 А, а одновитковые на токи до 18000 А (ТШЛ- 20) и выше, с изоляцией из фарфора (Ф) или эпоксидной смолы (Л).

Одновитковые ТТ проще по конструкции, имеют меньшие размеры и более устойчивы при к.з., чем многовитковые. Недостатком их является невысокая точность при измерении малых токов.

Существует три основных конструкции одновитковых ТТ: шинные, стержневые и встроенные. Все они имеют кольцевой сердечник, на который намотана вторичная обмотка. Первичная обмотка - шина (ТШ, ТШЛ, ТПШЛ) (рис.5, рис.6), труба, стержень (ТПОЛ, ТПОФ), стержень ввода выключателя или трансформатора (ТВ, ТВТ) - проходит через окно сердечника.



Рис.5 Трансформатор тока типа ТШЛ-10.

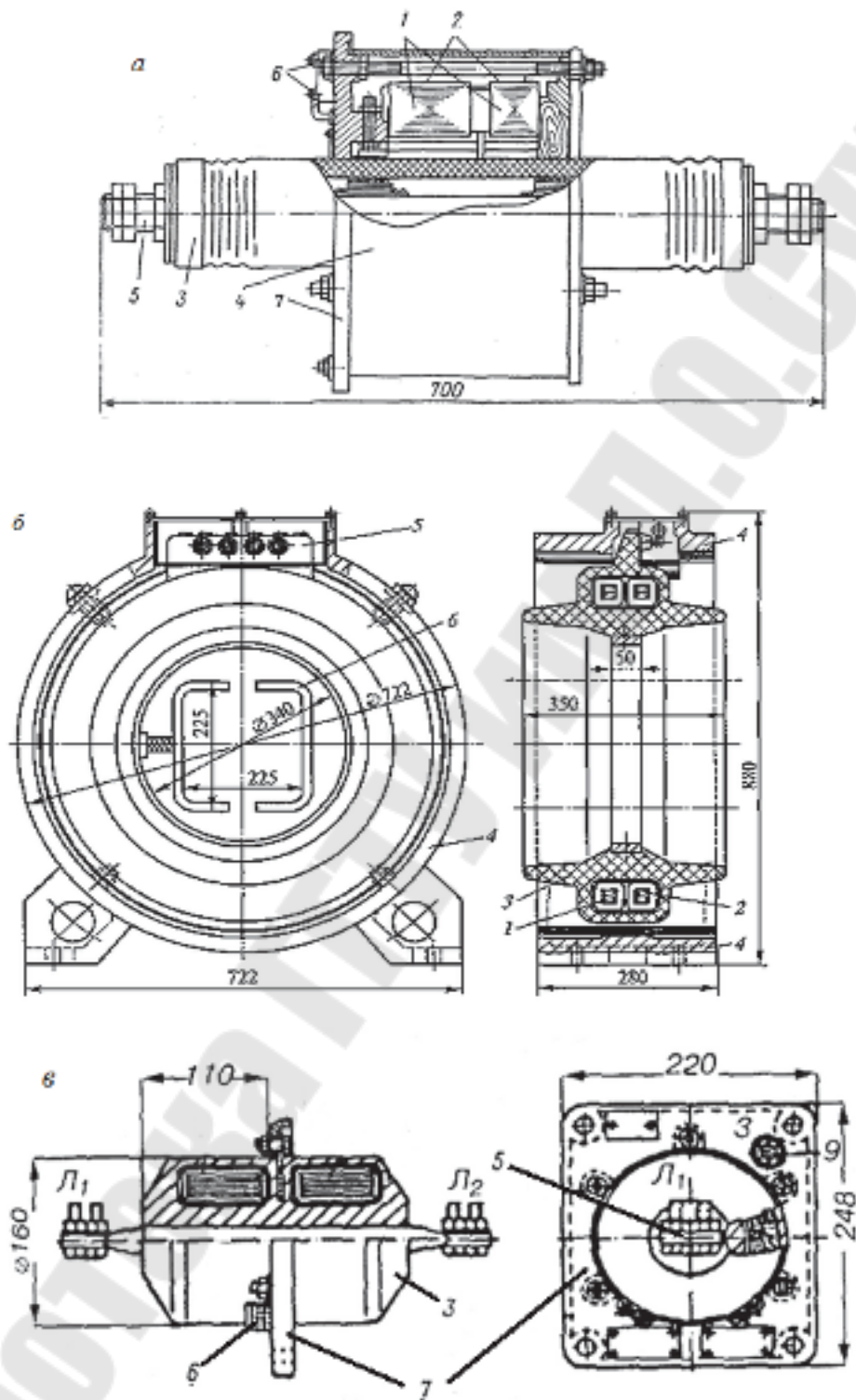


Рис. 6. Одновитковые трансформаторы тока
 а) ТПОФ-10; б) ТШЛ-20; в) ТПОЛ-10

1- магнитопровод; 2- вторичная обмотка; 3- изолятор; 4- корпус; 5- первичная обмотка; 6- выходы вторичных обмоток; 7- фланец для крепления.

К многовитковым ТТ относятся петлевые (ТПЛ), катушечные (ТК), проходные, многовитковые с фарфоровой изоляцией (ТПФМ). Их первичная обмотка выполнена гибкой медной шиной и пропущена через окно магнитопроводов несколько раз.

К внутренней установке относятся также ТТ нулевой последовательности (рис.7) : кабельного типа (ТЗ, ТЗР, ТЗРЛ, ТЗЛ, ТНП) и шинного типа (ТНПШ). Первичной обмоткой названных ТТ являются все три фазы, одновременно пропущенные через окно сердечника. ТТ нулевой последовательности применяются для питания цепей токовой защиты от замыканий на землю в сети с изолированной нейтралью. В ТТ типа ТНП и ТНПШ применено подмагничивание переменным током 50Гц для увеличения отдаваемой мощности и повышения чувствительности токовых защит. При выполнении защит кабельных линий от замыканий на землю необходимо заземлять кабельную муфту, а провод заземления пропустить через окно магнитопровода. При этом оболочка кабеля и провод заземления должны быть изолированы от земли на участке от кабельной воронки до ТТ, чтобы исключить ложное срабатывание защиты от токов наведенных в броне кабеля и протекающих через ТТ нулевой последовательности.

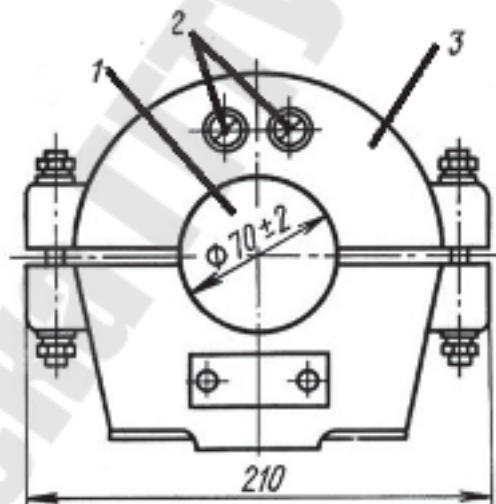


Рис.7 Трансформатор тока нулевой последовательности ТЗРЛ:

1 - окно для установки кабеля, 2 - выводы вторичной обмотки, 3 - литой корпус с сердечником.

Для наружной установки выпускаются опорные многовитковые ТТ (рис. 8, рис.9) типа ТФН, ТФНД, ТФКН и ТФН с (бумажно-масляной изоляцией обмоток). Активная часть помещена в фарфоровую ребристую покрывку, заполненную трансформаторным маслом. На цокольной части трансформаторов закреплена коробка выводов

вторичных обмоток. Первичная обмотка выведена в маслорасширитель. Бумажная изоляция первичной обмотки трансформатора ТФКН по толщине разделена алюминиевой фольгой на концентрические слои и представляют собой цилиндрический конденсатор. Последняя и предпоследняя обкладки его используются в качестве приспособления для измерения напряжения.

Чем выше напряжение, тем труднее осуществить изоляцию первичной обмотки. Поэтому на напряжение 330 кВ и выше изготавливаются ТТ в виде нескольких каскадов, каждый из которых рассчитан на часть фазного напряжения (ТФНКД, ТФН).



Рис.8 Трансформатор тока типа ТФН-110

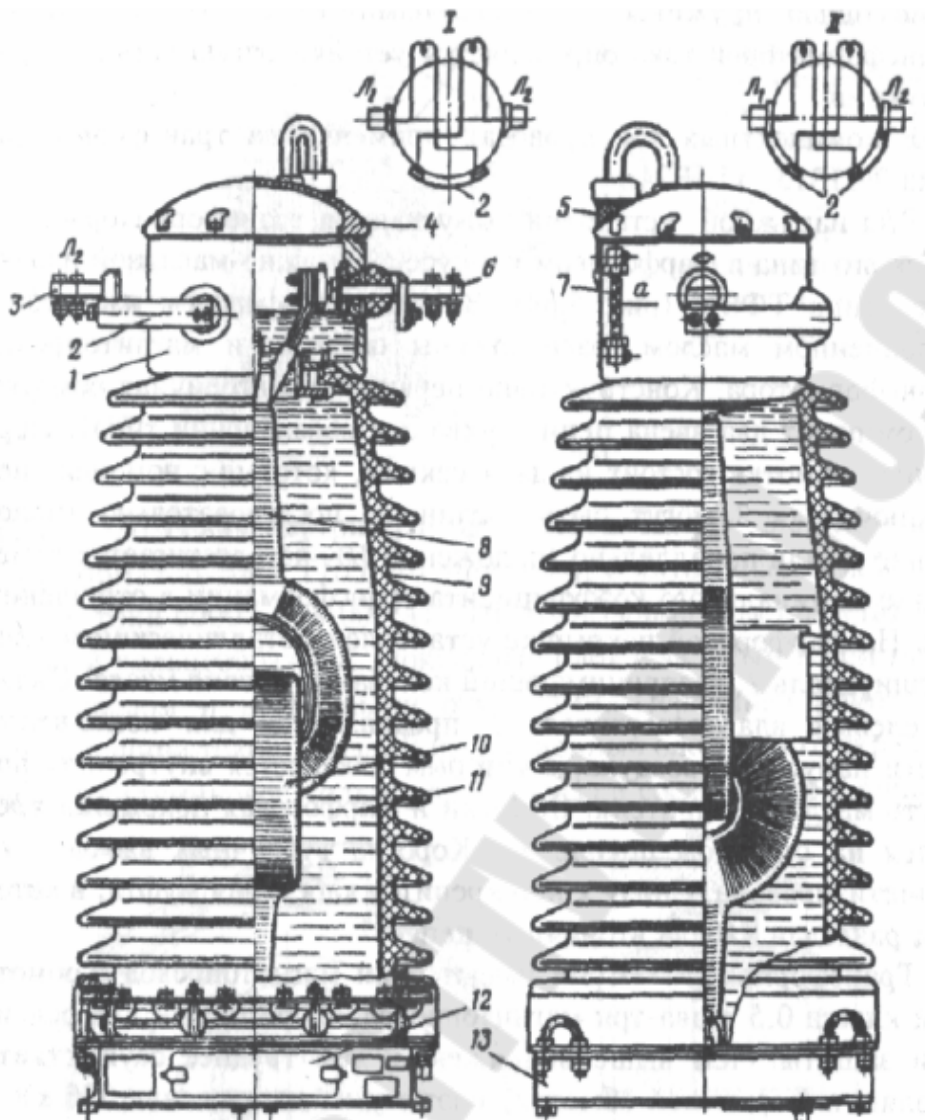


Рис.9 Трансформаторы тока наружной установки: ТФН: 1 - маслорасширитель, 2 - переключатель первичной обмотки, 3 - ввод Л2, 4 - крышка, 5 - влагопоглотитель, 6 - ввод Л1, 7- маслоуказатель, 8 - первичная обмотка, 9-фарфоровая покрывка; 10- магнитопровод с вторичной обмоткой; 11- масло; 12- коробка выводов вторичных обмоток; 13-цоколь.

3. Содержание работы

1. Изучить устройство и конструкции ТТ представленные в лаборатории.

2. Определить полярность обмоток ТТ типа **ТК**.

3. Определить коэффициент трансформации ТТ и погрешности при заданных значениях первичного тока и сопротивлении вторичной цепи.

4. Собрать и исследовать схемы соединения ТТ по заданию преподавателя.

5. Составить отчет по работе.

4. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд содержит испытательную установку с измерительными приборами. На лицевой панели стенда находятся трансформатора тока ТК предназначенные для исследования характеристик и схем соединения. Схема испытательной установки приведена на рис. 10.

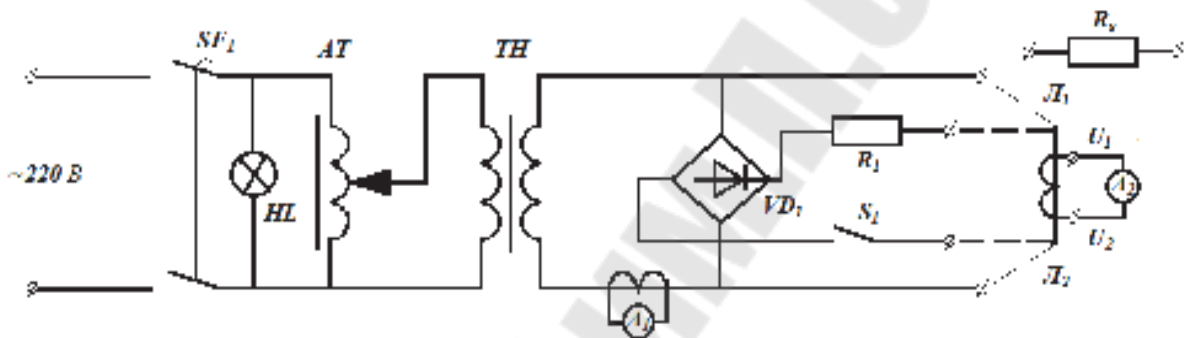


Рис. 10. Схема испытательной установки

5. Порядок выполнения работы

Для определения полярности обмоток, первичная обмотка испытуемого ТТ подключается к выпрямительному устройству VD_1 . При этом предполагаемый зажим $Л1$ ТТ соединяется с зажимом $+$ выпрямителя, а вывод $И1$ вторичной обмотки соединить с зажимом $+$ миллиамперметра. Автотрансформатором установить напряжение 60-100 В. При включении тумблера S_1 стрелка миллиамперметра должна отклониться вправо, а при отключении - влево. В противном случае маркировку выводов вторичной или первичной обмоток следует поменять местами.

Для измерения коэффициента трансформации ТТ и погрешностей к вторичной обмотке нагрузочного трансформатора НТ подключается испытуемый ТТ. В цепи вторичной обмотки дополнительно может включаться резистор R_q для оценки влияния сопротивления вторичной цепи на погрешность ТТ. Ток в первичной цепи измеряется амперметром A_1 подключенным через лабораторный ТТ с классом точности 0,2. Результаты измерений и расчетов записываются в таблицу.

Таблица 1

Показатели	Нагрузка трансформатора тока (Ом)		
	0,08	0,091	0,096
I_2			
$I_{2нТ}$			
$k_{ТА}$			
$\Delta I, \%$			

Опыты повторяются три включенном последовательно с амперметром A_2 добавочным сопротивлением R_q и результаты также заносятся в таблицу.

Для подключения реле и измерительных приборов вторичные обмотки ТТ могут соединяться в различные схемы. Наиболее распространенные схемы приведены на рис. 11.

Проверку правильности соединения вторичных цепей производят однофазным током. Проверку токовых цепей ТТ, соединенных в треугольник производят дважды; при подаче тока в фазы АВ и ВС.

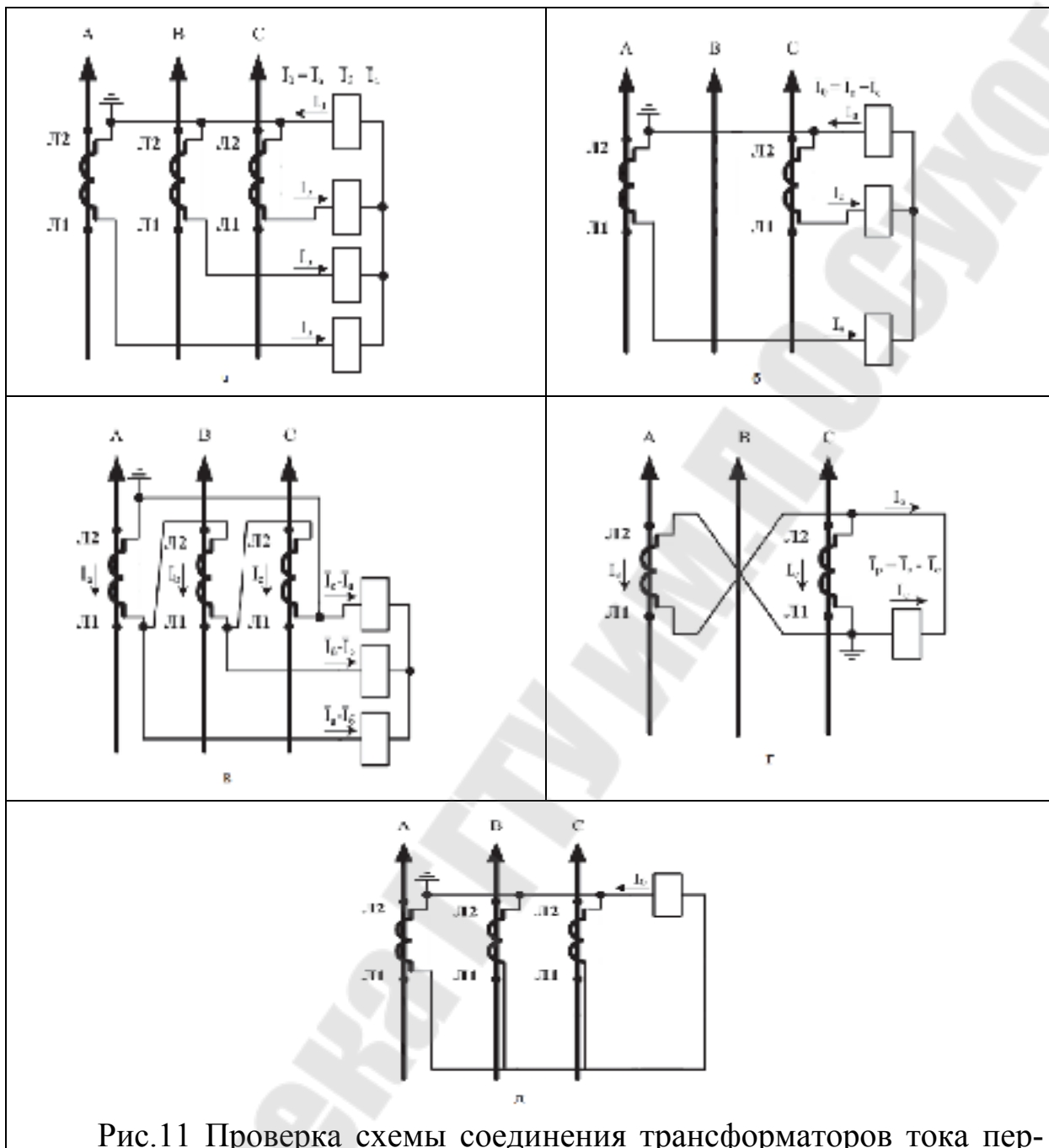


Рис.11 Проверка схемы соединения трансформаторов тока первичным однофазным током:
 а) схема соединения в звезду (позволяет измерить токи всех трех фаз);
 б) схема соединения в неполную звезду (применяется для измерения токов трех фаз в сетях с изолированной нейтралью); в) схема соединения в треугольник (применяется для получения разности фазных токов); г) схема соединения на разность токов двух фаз; д) схема соединения на сумму токов всех трех фаз - схема фильтра тока нулевой последовательности.

Соотношения, измеренных токов при правильном выполнении токовых цепей и при наиболее вероятных ошибках приведены таблице 2.

Таблица 2

Выполнение схемы	Вторичные токи		
	Правильно собрана схема	Обрыв нуле- вого провода	Полярность одной фазы –обратная
Полной звез- ды Рис. 11, а	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_0 = \frac{3 \cdot I_1}{k_{TA}}$	$I_a = I_b = I_c \approx 0$ $I_0 = 0$	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_0 = \frac{I_1}{k_{TA}}$
Неполной звезды Рис. 11, б	$I_a = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_0 = \frac{2 \cdot I_1}{k_{TA}}$	$I_a = I_c = 0$ $I_0 = 0$	$I_a = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_0 = 0$
На сумму то- ков фаз Рис. 11, д	$I_0 = \frac{I_1}{k_{TA}}$	$I_0 = 0$	$I_0 = \frac{2 \cdot I_1}{k_{TA}}$
Обрыв фазы А			
Треугольника Рис. 11, в (ток подан на фазу А-В)	$I_b = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_0 = \frac{2 \cdot I_1}{k_{TA}}$	$I_b \approx I_c \approx \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_a = 0$	$I_b = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_a = 0$
Треугольника Рис. 11, в (ток подан на фазу В-С)	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_b = \frac{2 \cdot I_1}{k_{TA}}$	$I_b = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_a = 0$	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_c = 0$
На разность токов Рис. 11, г	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_p = \frac{2 \cdot I_1}{k_{TA}}$	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_p = \frac{I_1}{k_{TA}}$	$I_a = I_b = I_c = \frac{I_1}{k_{TA}}$ $I_p = 0$

Внимание: Запрещается разрывать цепь вторичной обмотки при включенной первичной!

6. Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Паспортные данные проверяемого трансформатора тока.

3. Схемы испытаний.
4. Результаты измерений и расчетов.

7. Контрольные вопросы

1. Назначение трансформатора тока.
2. Погрешности ТТ. Их зависимости и пути уменьшений.
3. Класс точности ТТ. Область применения ТТ в зависимости от класса точности.
4. Режим работы ТТ. Объяснить недопустимость работа ТТ.
5. Как обеспечивается безопасность обслуживания вторичных цепей ТТ?
6. Почему величина тока первичной обмотки не зависит от величины нагрузки вторичных цепей?
7. Типовые схемы соединения ТТ.
8. Конструктивное исполнение одновитковых и многовитковых ТТ внутренней установки.
9. Конструктивное исполнение ТТ наружной установки.
10. Конструктивное исполнение ТТ нулевой последовательности. Как заземляется кабельная муфта в месте установки ТТ нулевой последовательности?
11. Преимущества и недостатки каскадных ТТ в сравнении с одноступенчатыми?

8. Литература

1. Методические: указания к лабораторным занятиям по курсу "Электрические станции и подстанции систем электроснабжения (часть 3) для студентов спец.0303/А.Н.Бохан, Г.И. Селиверстов. - Гомель. ГПИ.
2. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций.- М.: Энергия, 1980, с. 241.
2. Усов С.В. Электрическая часть электростанций. М: Энергия, 1977, с.341.
3. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций.-М.: Энергия, 1975, с. 421.

Лабораторная работа №4

Автоматические воздушные выключатели

1. Цель работы

Изучить назначение, конструкцию и исследовать работу автоматических выключателей общепромышленного применения.

2. Оборудование

Комплектный лабораторный стенд.

Автоматический выключатель сер. ВА51Г-25:

$$I_{ном} = 0,5 A; \quad I_{ном} = 12 \cdot I_{ном}.$$

3. Теоретические сведения

Автоматические выключатели общепромышленного применения относятся к аппаратам защиты и предназначены для автоматического отключения электрических цепей при токах перегрузки и коротких замыканий, а также для нечастых включений-отключений вручную номинальных токов нагрузки.

Автоматические выключатели имеют максимально-токовую защиту, отрегулированную на заводе-изготовителе.

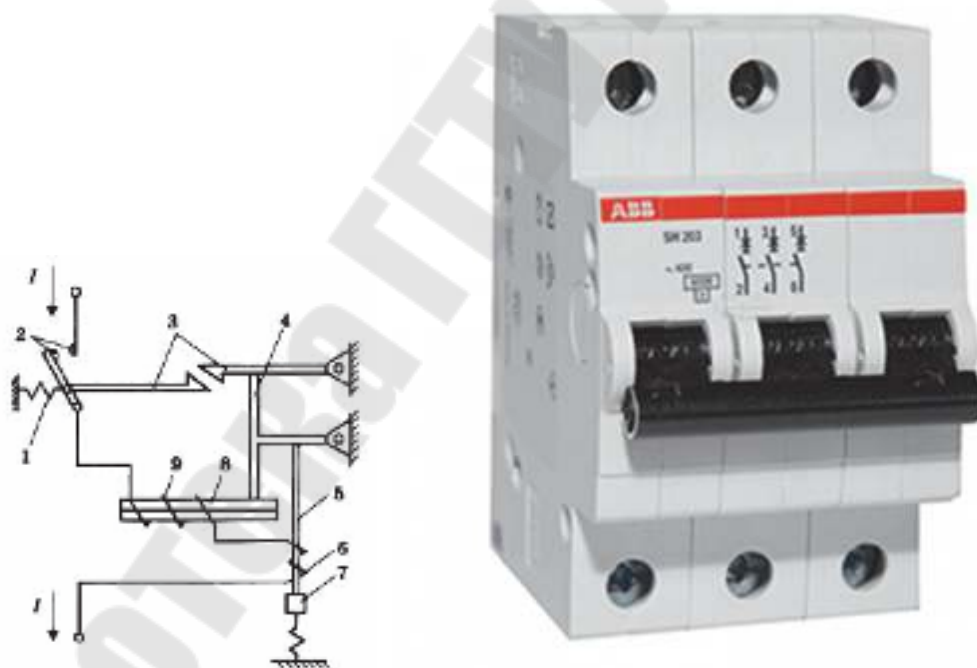


Рис. 1. Схема автоматического выключателя

Конструкция автоматических выключателей содержит следующие узлы: токоведущую часть, дугогасительную систему, привод, тепловой и электромагнитный расцепитель (отсечка). Для предотвращения возможности соприкосновения персонала с частями, находя-

щимися под напряжением, автоматические выключатели закрыты пластмассовой крышкой.

Работает автоматический выключатель следующим образом. Ток нагрузки протекает по контактам 2 автомата (рис.1), нагреватель 9 теплового расцепителя и катушку 6 электромагнитного расцепителя (реле максимального тока). При коротком замыкании в цепи, в которой установлен автоматический выключатель, сердечник 7 максимального реле втягивается в катушку и толкателем 5 воздействует на рычаг 4. Рычаг поворачивается и освобождает защелку 3. Под действием пружины 1 силовые контакты выключателя размыкаются и происходит автоматическое отключение электроприемника от сети.

При перегрузке цепи, когда ток в ней больше номинального, но меньше тока короткого замыкания, происходит срабатывание теплового расцепителя и автоматическое отключение выключателя. Ток перегрузки, проходя по нагревателю теплового реле, вызывает нагрев биметаллической пластины 8. В результате этого свободный конец пластины поднимается вверх и через рычаг воздействует на защелку, вызывая отключение выключателя и размыкание контактов.

Автоматические выключатели общего назначения широко применяются для коммутации и защитного отключения силовых электрических цепей управления переменного и постоянного тока.

Распространенные серии автоматических выключателей АП50Б, АЕ1000, АЕ2000, А3700, ВА различаются между собой количеством контактов (полюсов), уровнем номинального тока и напряжения, набором и исполнением реализуемых защит, отключающей способностью, временем отключения. Диапазон номинальных токов автоматических выключателей 0,32... 10000 А. Время отключения различных выключателей находится в пределах от 0,02 до 1 с.

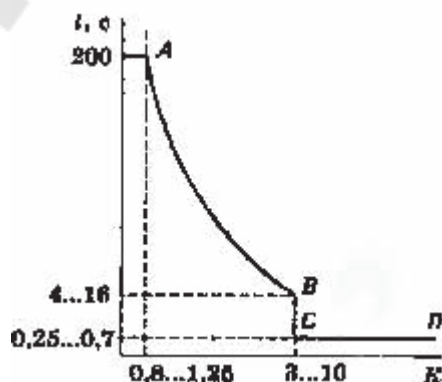


Рис. 2. Защитная характеристика автоматического выключателя

Защитная характеристика автоматического выключателя представлена: на рис. 2. Максимальный электромагнитный расцепитель имеет обратозависимую от тока выдержку при токах КЗ (участок CD). Уставка по току регулируется в зонах перегрузки и КЗ (отсечки). Время срабатывания регулируется при $I_{ном}$ кратности тока $3...10 I_{ном}$ и токах короткого замыкания. В автоматических выключателях с электромагнитными расцепителями выдержка времени в независимой от тока части характеристики обеспечивается часовым анкерным механизмом, в зависимой - регулированием силы притяжения якоря электромагнита к сердечнику.

Автоматические выключатели с электротепловыми биметаллическими расцепителями обеспечивают обратозависимую характеристику при перегрузках.

Ток срабатывания максимального расцепителя автоматического выключателя не должен отличаться более чем на $10... 13 \%$ от указанного в паспорте выключателя.

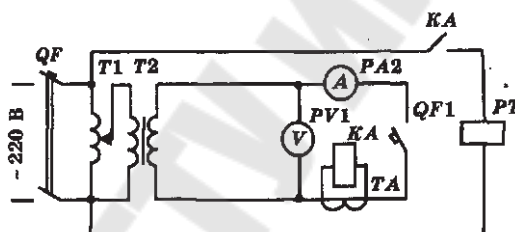


Рис. 3. Электрическая схема исследования токового реле

У тепловых реле время срабатывания в нескольких точках при кратности в пределах $2...5 I_{ном}$.

4. Схема стенда лабораторной установки (рис. 4)

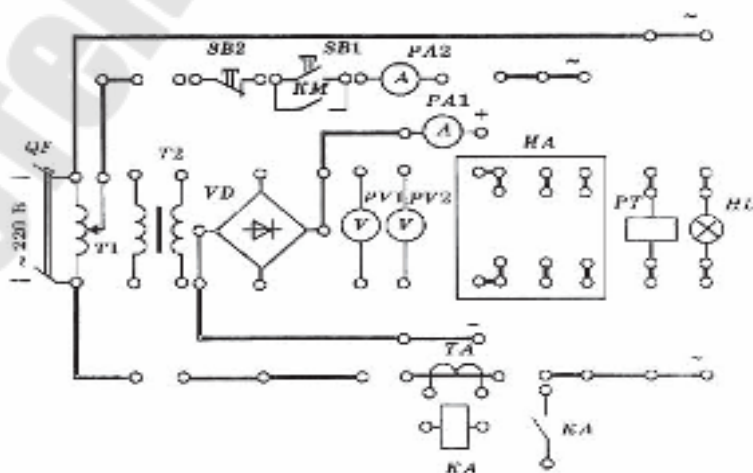


Рис. 4. Стенд лабораторной установки

5. Порядок выполнения работы

5.1. Собрать электрическую цепь на стенде. После проверки ее преподавателем выполнить по порядку все операции, указанные в инструкции.

5.2. Убедиться, что вводной автоматический выключатель QF отключен.

5.3. Установить перемычку во вторичную обмотку понижающего трансформатора Т2. При этом исследуемый выключатель QF1 должен быть отключен.

5.4. Включить напряжение на лабораторный стенд и регулятором напряжения Т1 установить номинальный ток во вторичной обмотке трансформатора Т2, равный току срабатывания электромагнитного расцепителя (отсечки) и соответствующий кратности для данной серии исследуемого автоматического выключателя.

5.5. Отключить стенд от сети, снять перемычку и включить исследуемый выключатель.

5.6. Включить напряжение на стенд. Время срабатывания расцепителя выключателя фиксирует секундомер РТ.

5.7. Исследовать тепловой расцепитель, последовательно увеличивая величину тока на 25...30 % (до двух - трехкратного превышения значения по отношению к току номинального автомата). Время срабатывания зафиксировать по показаниям секундомера.

Результаты опыта записать в таблицу 1.

Таблица 1

Тип выключателя	Тепловой расцепитель			Отсечка	
	$I_{ном}, А$	$I_{срб}, А$	$t_{срб}, с$	$I/ I_{ном}$	$t_{срб}, с$

6. Содержание отчета

6.1. Цель работы.

6.2. Схема исследования защитной характеристики автоматического выключателя.

6.3. Параметры и технические характеристики исследуемых автоматических выключателей.

6.4. Результаты экспериментальных исследований.

6.5. Построить зависимость $t_{срб} = f(I_{срб})$.

6.6. Выводы по результатам исследований.

7. Контрольные вопросы

1. Для каких целей применяются автоматические выключатели?
2. Какие распространенные серии автоматических выключателей применяются в схемах электротехнических устройств?
3. Как устроен тепловой расцепитель автоматических выключателей?
4. Как устроен электромагнитный расцепитель автоматических выключателей?
5. Какую шкалу номинальных токов имеют автоматические выключатели серии ВА?

7. Литература

1. Елкин В. Д., Елкина Т. В. Электрические аппараты : Учебное пособие для учащихся ССУЗов, Мн.: Дизайн ПРО, 2003. – 168 с.
2. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций.- М.: Энергия, 1980, с.241.
2. Усов С.В. Электрическая часть электростанций. М: Энергия, 1977, с.341.
3. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций.-М.: Энергия, 1975, с. 421.

Лабораторная работа №5 Плавкие предохранители

1. Цель работы

Изучить конструкцию низковольтных предохранителей, опытным путем определить защитную характеристику плавкой вставки.

2. Оборудование

Комплектный лабораторный стенд.

Предохранитель серии ПРС-6 со сменными плавкими вставками на ток 1 А (5 шт. на один опыт).

3. Теоретические сведения

Предохранители - это электрические аппараты, предназначенные для защиты электрических цепей от токовых перегрузок и токов коротких замыканий (КЗ).

Простота, удобство обслуживания, малые размеры, высокая отключающая способность, небольшая стоимость обеспечили предохранителям широкое распространение в схемах электротехнических устройств.

Предохранители с закрытым разборным патроном без наполнителя серии ПР2 изготавливаются на напряжение 220 и 500 В при номинальном токе 100... 1000 А.



Рис.1. Предохранитель серии ПРС-6.

Насыпные предохранители серии ПН2 (рис.2) широко применяются для защиты силовых цепей до 500 В переменного и 440 В постоянного тока и рассчитаны на номинальный ток 100...600 А. Насыпные предохранители серии НПН2-63 имеют неразборный стеклянный патрон и рассчитаны на ток до 63 А.



Рис.2. Насыпные предохранители серии ПН2.

Плавкие предохранители работают в двух режимах: нормальном, а также в режиме перегрузки и коротких замыканий.

Ток, на который рассчитана плавкая вставка для длительной работы, называют номинальным током плавкой вставки.

В предохранителях серии ПР2 и ПН2 в один и тот же патрон можно вставлять плавкие вставки на ряд номинальных токов. Максимальный ток, указанный на патроне предохранителя, равен максимальному номинальному току плавкой вставки, предназначенной для данной конструкции предохранителя. Предохранители не должны отключать электрическую цепь при протекании условного тока неплавления и должны отключать ее при протекании условного тока плавления в течение определенного времени, зависящего от номинального тока.

Для уменьшения времени срабатывания в предохранителях применяются плавкие вставки из различного материала специальной формы, а также используется металлургический эффект. Наиболее распространенными материалами плавких вставок являются медь, цинк, алюминий, свинец и серебро.

Важной характеристикой предохранителя является зависимость времени плавления плавкой вставки от кратности пускового тока номинальному, которая называется защитной характеристикой (рис. 1). При постоянной величине тока время плавления вставки зависит так-

же от материала вставки, состояния ее поверхности, условий охлаждения. Поэтому, для того чтобы получить более точное время плавления при исследовании защитной характеристики предохранителей, необходимо проделать несколько опытов, устанавливая две-три плавкие вставки одного и того же номинального тока на каждый опыт, изменяя кратность тока в пределах (2...8) /ном по схеме на рис. 3.

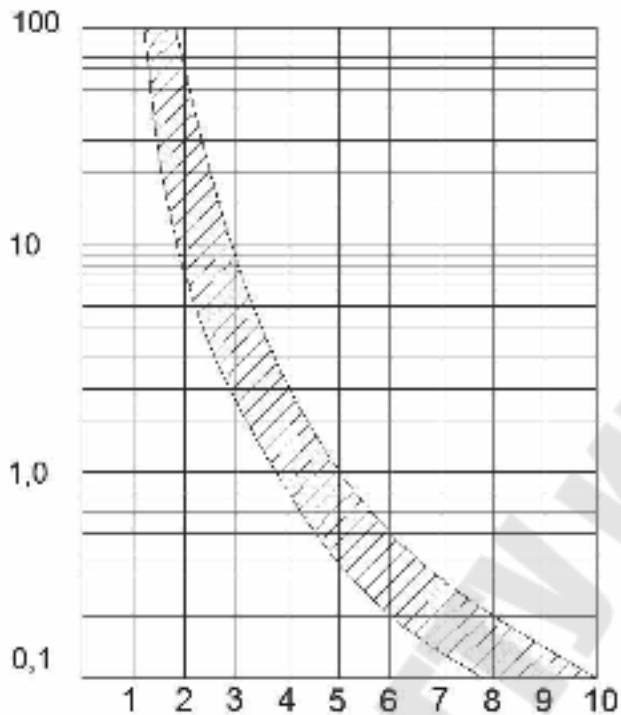


Рис.3. Защитная характеристика предохранителя

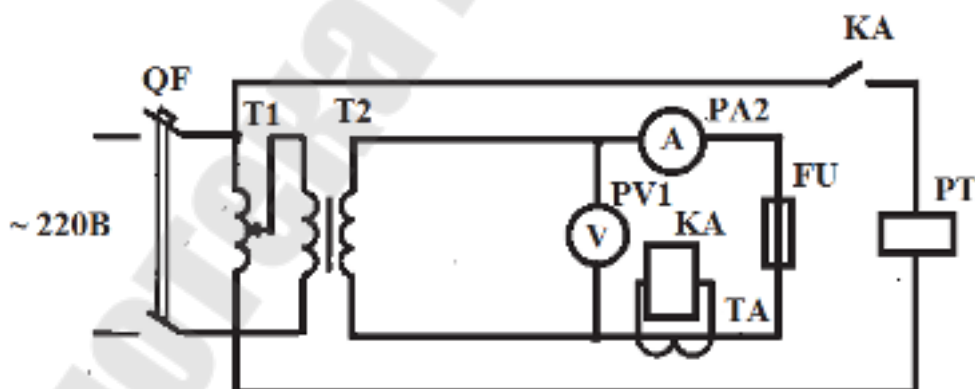


Рис.4. Схема электрическая исследования защитной характеристики плавких предохранителей.

4. Схема стенда лабораторной установки (рис. 5)

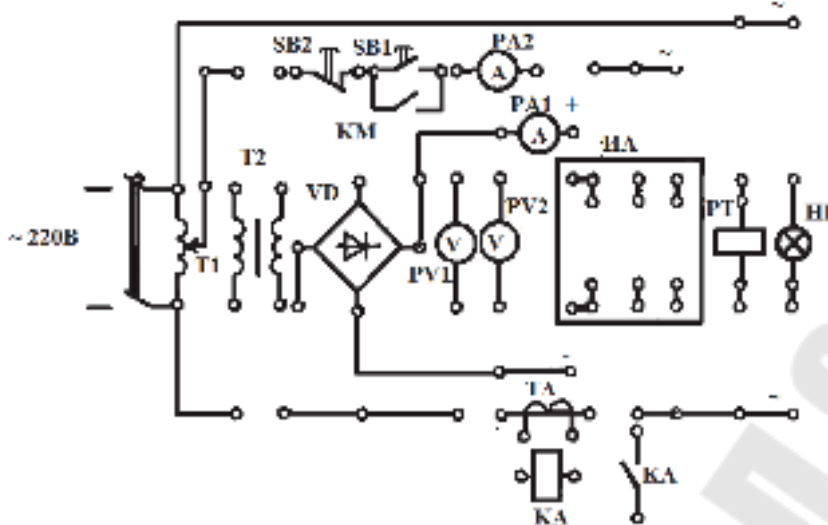


Рис. 5. Стенд лабораторной установки

5. Порядок выполнения работы

5.1. Собрать электрическую цепь на стенде.

После ее проверки преподавателем выполнить по порядку все операции, указанные в инструкции.

5.2. Произвести пробное включение напряжения на стенде вводным автоматическим выключателем QF .

5.3. Вместо исследуемого предохранителя FU установить перемычку (аналогичный предохранитель с мощной металлической связью).

5.4. Включить напряжение выключателем QF и с помощью регулятора напряжения $T1$ установить величину, соответствующую кратности тока срабатывания номинальному току исследуемого предохранителя. Отключить стенд и обнулить секундомер PT .

5.5. Снять перемычку и установить исследуемый предохранитель. Включить стенд. Время плавления (перегорания) плавкой вставки будет зафиксировано остановкой секундомера.

5.6. Отключить стенд от сети. Записать показания секундомера и обнулить его.

5.7. Заменить плавкую вставку предохранителя. Повторить эксперимент для других значений кратности тока. Результаты опыта записать в таблицу 1.

Таблица 1

с	Время,	Ток, А				
		I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
	t_1					
	t_2					

6. Содержание отчета

6.1. Цель работы.

6.2. Схема лабораторной установки исследования плавких вставок предохранителей.

6.3. Результаты экспериментальных исследований в виде таблиц 1.1 и зависимости $t_{срб} = f(I)$.

6.4. Выводы по результатам исследований.

7. Контрольные вопросы

1. Какие предохранители применяются в схемах электротехнических устройств?

2. Для каких целей применяют плавкие предохранители?

3. Какую шкалу номинальных токов имеют плавкие вставки предохранителей серии ПН2?

4. Какую шкалу номинальных токов имеют плавкие вставки предохранителей серии НПН2-63?

5. Каковы достоинства и недостатки плавких предохранителей?

6. Назовите основную характеристику плавких предохранителей.

7. Назовите типы насыпных предохранителей.

8. Литература

1. Елкин В. Д., Елкина Т. В. Электрические аппараты : Учебное пособие для учащихся ССУЗов, Мн.: Дизайн ПРО, 2003. – 168 с.

2. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций.- М.: Энергия, 1980, с.241.

2. Усов С.В. Электрическая часть электростанций. М: Энергия, 1977,с.341.

3. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций.-М.: Энергия, 1975, с. 421.

Жуковец Светлана Григорьевна

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СТАНЦИЙ
И ПОДСТАНЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Практикум
по выполнению лабораторных работ
по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-43 01 07
«Техническая эксплуатация энергооборудования»
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 20.05.16.

Рег. № 96Е.
<http://www.gstu.by>