



Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Электроснабжение»

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ПРАКТИКУМ

**по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»
дневной формы обучения**

Гомель 2024

УДК 621.316(075.8)
ББК 31.26я73
П80

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 8 от 26.04.2023 г.)*

Составители: *С. Г. Жуковец, Д. И. Зализный*

Рецензент: доц. каф. «Физика и электротехника» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *А. В. Козлов*

Производство электроэнергии : практикум по выполнению лаборатор. работ для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» днев. формы обучения / сост.: С. Г. Жуковец, Д. И. Зализный. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – 135 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.

Практикум составлен в соответствии с программой курса «Производство электроэнергии». Изложены содержание работ и методика их выполнения. Даны рекомендации по правилам сборки испытательных схем на стендах. Описана методика испытаний основного электрооборудования электрических станций и подстанций.

Для студентов специальности 1-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» дневной формы обучения.

**УДК 621.316(075.8)
ББК 31.26я73**

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ.....	5
ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	6
Работа № 1. Силовые трансформаторы.....	7
Работа № 2. ФЭМ.....	23
Работа № 3. Высоковольтный разъединитель.....	39
Работа № 4. Высоковольтный вакуумный выключатель с электромагнитным приводом.....	54
Работа № 5. Высоковольтный вакуумный выключатель с пружинным приводом.....	66
Работа № 6. Измерительные трансформаторы тока и напряжения....	79
Работа № 7. Ячейки 10 кВ комплектных распределительных устройств.....	100
Работа № 8. Оперативные переключения.....	117
Приложение 1. ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ОТЧЕТА.....	135

ВВЕДЕНИЕ

На лабораторных работах по курсу «Производство электроэнергии» студенты изучают высоковольтное оборудование и аппараты электрических станций и подстанций, схемы их первичных и вторичных цепей и конструкции распределительных устройств.

Цель каждой работы, ее содержание и методические указания приведены в данном методическом руководстве. Руководство содержит описания работ по основным разделам курса «Производство электроэнергии». Работы размещены в том порядке, что и теоретический материал лекционных занятий курса. В описании каждой работы после ее цели и содержания даются методические указания по ее выполнению. В описаниях приводятся не все сведения теоретического характера, относящиеся к работам, так как их студенты получают на лекциях и из учебной литературы. Такая организация лабораторных работ побуждает студентов к самостоятельной работе над учебниками. После каждой лабораторной работы имеется список литературы, который позволит найти сведения на контрольные вопросы.

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ В ЛАБОРАТОРИИ «Производство электроэнергии»

При выполнении лабораторных работ студенты должны помнить о возможном поражении электрическим током и необходимости соблюдения правил техники безопасности.

1. Вводный инструктаж проводят со всеми студентами перед началом лабораторных и практических работ в учебных лабораториях. О проведении вводного инструктажа делают запись в журнале регистрации вводного инструктажа с обязательной подписью инструктируемого и инструктирующего.

2. Перед изучением новой темы при выполнении лабораторных работ на рабочем месте проводят первичный инструктаж.

3. Включение напряжения производится только после проверки схемы руководителем работы. Перед каждой подачей напряжения включающий обязан предупредить всех работающих на установке.

4. Все работы в лаборатории могут производиться только с разрешения преподавателя, ведущего занятия.

5. Перед началом работы все студенты должны на месте подробно ознакомиться со схемой установки, обратив особое внимание на выключатели или рубильники со стороны питающей сети, и убедиться в отсутствии напряжения на участке работы.

6. В случае обнаружения неисправности установки или при аварии необходимо немедленно отключить напряжение и сообщить о происшедшем руководителю работ.

7. При поражении работающего электрическим током нужно немедленно отключить электропитание, чтобы освободить его от соприкосновения с токоведущими частями энергоустановки. Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, следует немедленно применить искусственное дыхание, непрямой массаж сердца, вызвать врача.

Запрещается

Прикасаться к открытым токоведущим частям схем, приборов и распределительных щитов. Производить какие-либо изменения в схеме, находящейся под напряжением. Включать схему под напряжением без разрешения преподавателя и без предупреждения всех работающих на данной установке. Оставлять без наблюдения включенные лабораторные установки.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Выполнение лабораторной работы складывается из следующих этапов.

1. Самостоятельная подготовка студентов к работе. Перед началом работы необходимо четко представить себе цель работы, знать схему установки. Должен быть предоставлен отчет, содержащий таблицы для записи результатов измерений и основные расчетные формулы. Студенты, не подготовившиеся к работе в соответствии с этими требованиями, к выполнению работы не допускаются.

2. Проведение эксперимента. Этап осуществляется в соответствии с указаниями, содержащимися в каждой работе.

3. Отчет о проделанной работе должен содержать:

- название;
- цель работы;
- схему установки, основные технические характеристики приборов и описание методики измерения, а также расчетные формулы, используемые в работе;
- числовой материал эксперимента и вычислений, сведенный в таблицы;
- графики, построенные на основании числового материала эксперимента;
- все измеренные данные в отчете должны быть представлены в единицах системы СИ;
- выводы.

4. Защита лабораторной работы происходит с предоставлением отчета. При ответе на контрольные вопросы студент должен объяснить полученные результаты и сделать вывод. Студент, имеющий незащищенную работу, не допускается к выполнению следующей.

Лабораторная работа № 1

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ

1. Цель работы

Изучение характеристик и конструкций силовых трансформаторов.

2. Теоретические сведения

Электроэнергия, вырабатываемая на электростанциях, при передаче к потребителям претерпевает многократную трансформацию в повышающих и понижающих трансформаторах. Передача электроэнергии на большие расстояния более экономична на высоком напряжении. *Силовые трансформаторы* служат для преобразования электрической энергии одного напряжения в энергию другого напряжения. Они являются основным оборудованием электрических станций и подстанций.

Трансформаторы изготовляют однофазными и трехфазными. Наибольшее распространение получили трехфазные трансформаторы, так как потери в них на 12 - 15 % ниже, а расход активных материалов и стоимость на 20 - 25 % меньше, чем в группе трех однофазных трансформаторов такой же суммарной мощности. Группы из однофазных трансформаторов применяют только при самых больших мощностях и напряжениях 330 кВ и выше в целях уменьшения массы для транспортировки от места изготовления до места установки. Однофазные трансформаторы применяются также на тяговых подстанциях при электрификации железных дорог переменным током.

По количеству обмоток трансформаторы разделяются на двухобмоточные и трехобмоточные.

К основным параметрам трансформатора относятся номинальные мощность, напряжение, ток, напряжение КЗ, ток ХХ, потери ХХ и КЗ.

Одна из важнейших характеристик трансформатора - коэффициент трансформации.

Номинальный коэффициент трансформации $k_{тр}$ – это отношение номинального первичного напряжения $U_{1ном}$ ко вторичному $U_{2ном}$:

$$k_{тр} = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}. \quad (1)$$

Обмотки трансформаторов имеют обычно схемы соединения: звезда, звезда с выведенной нейтралью и треугольник.

В трехфазном трансформаторе применением разных способов соединений обмоток можно образовать двенадцать различных групп соединений, причем при схемах соединения обмоток звезда - звезда можно получить любую четную группу (2, 4, 6, 8, 10, 0), а при схеме звезда / треугольник или треугольник / звезда любую нечетную группу (1, 3, 5, 7, 9, 11).

Современный трансформатор состоит из различных конструктивных элементов: магнитопровода, обмоток, вводов, бака и др. Магнитопровод с насаженными на его стержни обмотками составляет активную часть трансформатора. Остальные элементы трансформатора называют неактивными (вспомогательными) частями. Рассмотрим подробнее конструкцию основных частей трансформатора.

Магнитопровод является конструктивной и механической основой трансформатора. Он выполняется из отдельных листов электротехнической стали, изолированных друг от друга. Качество электротехнической стали влияет на допустимую магнитную индукцию и потери в магнитопроводе.

Магнитопровод и его конструктивные детали составляют остов трансформатора. На остоле устанавливают обмотки и крепят проводники, соединяющие обмотки с вводами, составляя активную часть. Части сердечника, на которых находятся обмотки, называются стержнями магнитопровода, а части без обмоток - ярмом.

В трансформаторах применяется холоднокатаная текстурованная сталь марок 3405, 3406, т.е. сталь с определенной ориентировкой зерен, допускающая индукцию до 1,7 Тл с удельными потерями $0,9 \div 1,1$ Вт/кг. Применение такой стали позволило значительно уменьшить сечение магнитопровода за счет большой допустимой магнитной индукции, уменьшить диаметр витков обмотки, уменьшить массу и габариты трансформаторов.

Листы трансформаторной стали должны быть тщательно изолированы друг от друга. Первоначально применялась бумажная изоляция - листы оклеивались с одной стороны тонким слоем специальной бумаги. Бумага создает полную электрическую изоляцию между листами, но легко повреждается при сборке и увеличивает размеры магнитопровода. Широко применяется изоляция листов лаком с толщиной слоя 0,01 мм. Лаковая пленка создает достаточно надежную изоляцию между листами, обеспечивает хорошее охлаждение магнито-

провода, обладает высокой нагревостойкостью и не повреждается при сборке. Последнее время все шире применяется двухстороннее жаростойкое покрытие листов стали, наносимое на металлургическом заводе после проката. Толщина покрытия меньше 0,01 мм, что обеспечивает лучшие свойства магнитной системы. Стяжка стержней осуществляется стеклобандажами, ярма - стальными полубандажами или бандажами.

Обмотки трансформаторов могут быть концентрическими и чередующимися. В первом случае обмотки НН и ВН выполняют в виде цилиндров и располагают на стержне концентрически одна относительно другой (рис. 1.1 а). Такое выполнение принято в большинстве силовых трансформаторов. Во втором случае обмотки ВН и НН выполняются в виде невысоких цилиндров с одинаковыми диаметрами и располагаются на стержне одна над другой (рис. 1.1 б). В такой обмотке значительное число паек, она менее компактна и применяется для специальных электропечных трансформаторов или для сухих трансформаторов, так как обеспечивает лучшее охлаждение обмоток.

Обмотки трансформаторов должны обладать достаточной электрической и механической прочностью. Изоляция обмоток и отводов от нее должна без повреждений выдерживать коммутационные и атмосферные перенапряжения.

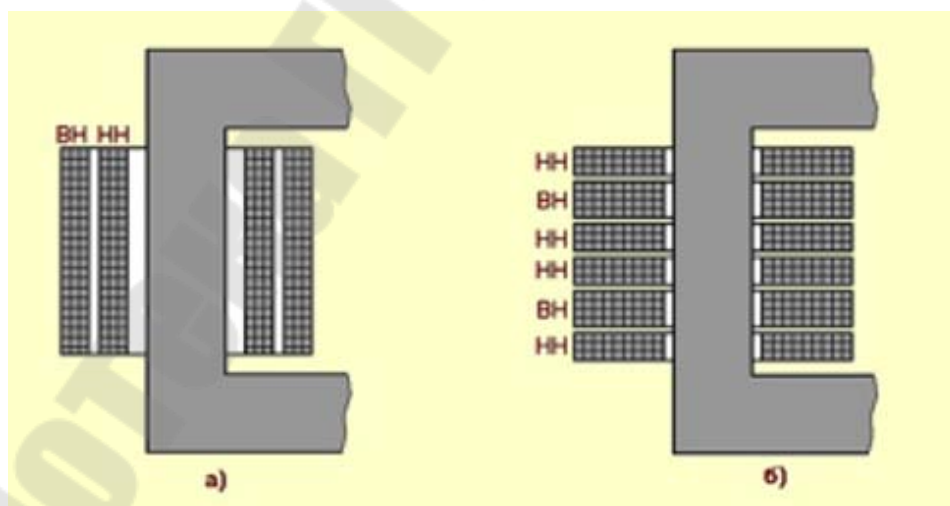


Рис. 1.1. Типы обмоток трансформатора:
а – концентрические; б – чередующиеся.
НН – обмотки низкого напряжения;
ВН – обмотки высокого напряжения

Обмотки должны выдерживать электродинамические усилия, которые появляются при протекании токов КЗ. Необходимо преду-

смотреть надежную систему охлаждения обмоток, чтобы не возникал недопустимый перегрев изоляции. Для проводников обмотки используются медь и алюминий. Как известно, медь имеет малое электрическое сопротивление, легко поддается пайке, механически прочна, что и обеспечило широкое применение меди для обмоток трансформаторов. Алюминий дешевле, обладает меньшей плотностью, но большим удельным сопротивлением, требует новой технологии выполнения обмоток. В настоящее время трансформаторы с алюминиевой обмоткой изготавливаются на мощность до 6300 кВА.

В современных трансформаторах для обмотки применяется транспонированный провод, в котором отдельные проводники в параллельном пучке периодически изменяют свое положение. Это выравнивает сопротивление элементарных проводников, увеличивает механическую прочность, уменьшает толщину изоляции и размеры магнитопровода.

Изоляция трансформатора является ответственной частью, так как надежность работы трансформатора определяется в основном надежностью его изоляции.

В масляных трансформаторах основной изоляцией является масло в сочетании с твердыми диэлектриками: бумагой, электрокартоном, гетинаксом, деревом (маслобарьерная изоляция).

Значительный эффект дает применение изоляции из специально обработанной бумаги (стабилизированной), которая менее гигроскопична, имеет более высокую электрическую прочность и допускает больший нагрев. В сухих трансформаторах широко применяются новые виды изолирующих материалов повышенной нагревостойкости на основе кремнийорганических материалов.

Устройство силового трансформатора.

Активную часть трансформатора вместе с отводами и переключающими устройствами для регулирования напряжения помещают в бак. Основные части бака - стенки, дно и крышка. Крышку используют для установки вводов, выхлопной трубы, крепления расширителя, термометров и других деталей. На стенке бака укрепляют охлаждающие устройства - радиаторы 5 рис. 1.2.

В трансформаторах небольшой мощности бак выполняется с верхним разъемом: при ремонтах необходимо снять крышку трансформатора, а затем поднять активную часть из бака.

Если масса активной части более 25 т, то она устанавливается на донную часть бака, а затем накрывается колоколообразной верхней частью бака и заливается маслом. Такие трансформаторы с нижним разъемом не нуждаются в тяжелых грузоподъемных устройствах для выемки активной части, так как при ремонтах после слива масла поднимается верхняя часть бака, открывая доступ к обмоткам и магнитопроводу. Для уменьшения потерь от потоков рассеяния стальные баки экранируются с внутренней стороны пакетами из электротехнической стали или пластинами из немагнитных материалов (медь, алюминий).

Основой конструкции трансформатора (рис.1.2) служит активная часть, состоящая из магнитопровода 17 с расположенными на нем обмотками 21 высшего (ВН) и низшего (НН) напряжения, находящимися под обмотками ВН на стержнях магнитопровода; отводов НН 16 и ВН 18.

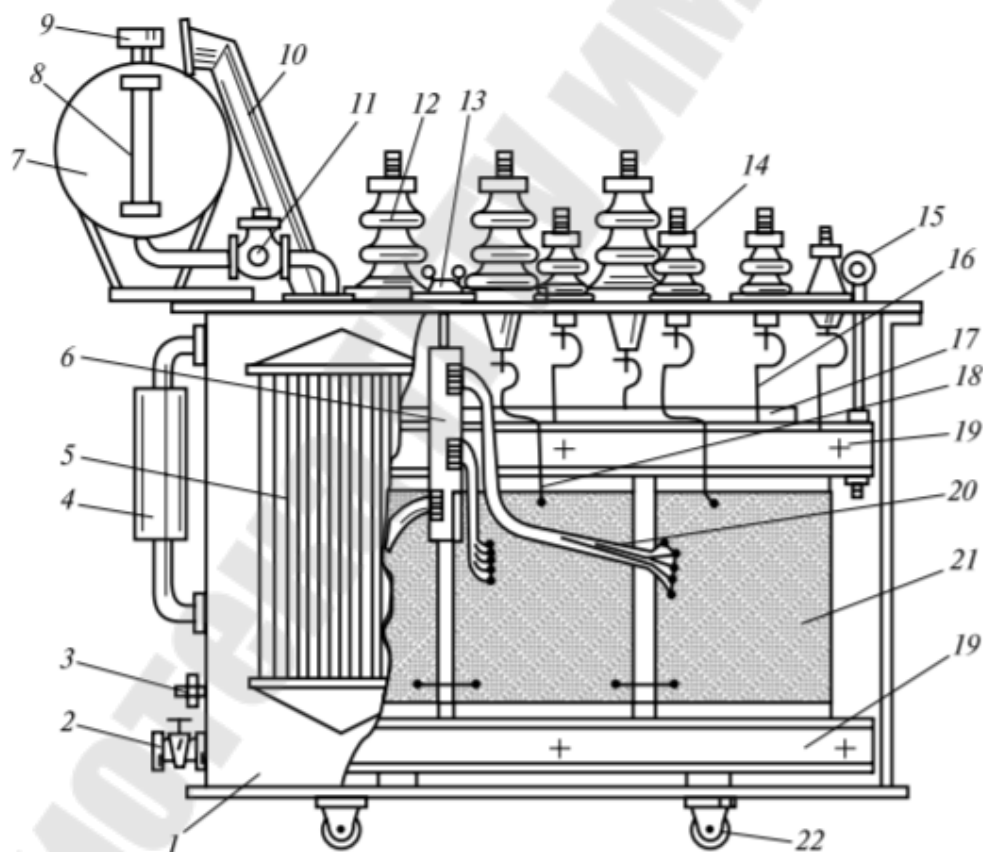


Рис. 1.2. Устройство силового масляного трансформатора

Магнитопровод, набранный из отдельных тонких листов трансформаторной стали с жаропрочным изоляционным покрытием, стягивается ярмовыми балками 19 и шпильками, пропущенными через сквозные отверстия стержней магнитопровода и ярмовых балок. Ак-

тивная часть расположена внутри бака трансформатора, полностью заполненного трансформаторным маслом.

Переключающее устройство 6 обмоток трансформатора служит для ступенчатого изменения напряжения в определенных пределах, поддержания номинального напряжения на зажимах обмотки НН при его изменении. С этой целью обмотки ВН трансформаторов снабжают регулировочными ответвлениями 20, которые присоединяют к переключателям 6. Необходимость регулирования вызвана тем, что в электросистемах возможны различные отклонения от нормального режима электроснабжения, приводящие к неэкономичной работе приемников электроэнергии.

В трансформаторах могут быть два вида переключателей от- ветвления: регулирование под нагрузкой (РПН) и без нагрузки (после отключения трансформатора), т.е. переключение без возбуждения (ПБВ). Переключающее устройство приводится в действие с помощью привода 13, расположенного на крышке бака 1 трансформатора.

Отводами 16 и 18 называются соединительные провода, идущие от концов обмоток НН и ВН к вводам НН 14 и ВН 12. Бак трансформатора представляет собой стальной резервуар овальной формы, заполненный трансформаторным маслом, с погруженной в него активной частью трансформатора. Масло, являясь охлаждающей средой, отводит тепло, выделяющееся в обмотках и магнитопроводе, и отдает его в окружающую среду через стенки и крышку бака. Кроме охлаждения, масло служит для повышения уровня изоляции между токоведущими частями и заземленным баком. Для увеличения поверхности охлаждения баки делают ребристыми, вваривают в них трубы или снабжают съемными радиаторами 5. В нижней части бака имеется кран для слива масла 2, специальный кран 3 для отбора проб масла, а в днище – пробка для спуска осадков. Ко дну бака трансформатора массой выше 800 кг приваривают тележку с поворотными катками 22, позволяющими изменять направление передвижения трансформатора с поперечного на продольное. Для подъема трансформатора на верхних ярмовых балках крепятся подъемные шпильки с рымкольцами 15.

Термосифонный фильтр 4 крепится к баку трансформатора двумя патрубками с фланцами и промежуточными плоскими кранами. Фильтр предназначен для поддержания изоляционных свойств масла, а, следовательно, продления срока его службы. Он представляет собой цилиндрическое устройство, заполненное активным материалом – сорбентом, который поглощает продукты старения трансформаторно-

го масла. Работа фильтра основана на термосифонном принципе: более нагретое масло верхних слоев попадает в фильтр, охлаждается и опускается вниз, непрерывно при этом очищаясь.

Кроме вводов 12 и 14, на крышке бака размещены, расширитель 7, выхлопная труба 10, газовое реле 11. Вводы представляют собой фарфоровые проходные изоляторы, к которым в баке крепятся выводы обмоток трансформатора, а снаружи - токоведущие части распределительных устройств. Внутри бака вводы имеют гладкую поверхность, а наружные части вводов, работающие в тяжелых условиях (под дождем, снегом, в загрязненном воздухе), отличаются более развитой поверхностью (имеют зонтообразные ребра) для увеличения пути поверхностного электрического разряда по фарфору и электрической прочности ввода. В настоящее время в качестве материала вводов используются также полимерные материалы.

Расширитель 7 служит для компенсации колебаний уровня масла в трансформаторе при изменении температуры, а также для уменьшения площади соприкосновения открытой поверхности масла с воздухом, защиты его от преждевременного окисления кислородом воздуха и увлажнения. Расширитель представляет собой цилиндрический бак, закрепленный с помощью кронштейна на крышке трансформатора. Бак трансформатора полностью залит маслом, изменение объема масла при нагреве и охлаждении приводит к колебанию уровня масла в расширителе; при этом воздух вытесняется из расширителя или всасывается в него. Масло очень гигроскопично, и если расширитель непосредственно связан с атмосферой, то влага из воздуха поступает в масло, резко снижая его изоляционные свойства. Для предотвращения этого расширитель связан с окружающей средой через силикагелевый воздухоосушитель 9. Силикагель поглощает влагу из всасываемого воздуха. При резких колебаниях нагрузки силикагелевый фильтр полностью не осушает воздух, поэтому постепенно влажность воздуха в расширителе повышается. Для предотвращения этого применяются герметичные баки с газовой подушкой из инертного газа или свободное пространство в расширителе заполняется инертным газом (азотом), поступающим из специальных эластичных емкостей. Возможно применение специальной пленки – мембраны на границе масло – воздух. Осушение воздуха в расширителе осуществляют термомораживателями. Для наблюдения за маслом на боковой стенке расширителя устанавливают маслоуказатель 8, выполненный в виде стеклянной трубки в металлической оправе.

Газовое реле 11 встраивают в рассечку трубы, соединяющей бак трансформатора с расширителем. Оно защищает трансформатор при внутренних повреждениях, связанных с выделением газа или утечкой масла из бака. Повреждения внутри трансформатора, сопровождаемые электрической дугой, приводят к интенсивному разложению масла с образованием большого количества газа и, как следствие, резкому повышению давления внутри бака; бак при этом может разорваться и возникнуть пожар.

Выхлопная труба 10, устанавливаемая на крышке бака трансформатора, закрыта стеклянным диском. При повышении давления внутри бака стекло лопається и газы вместе с маслом выбрасываются наружу раньше, чем произойдет деформация бака.

Системы охлаждения силовых трансформаторов.

При работе трансформатора происходит нагрев обмоток и магнитопровода за счет потерь энергии в них. Предельный нагрев частей трансформатора ограничивается изоляцией, срок службы которой зависит от температуры нагрева. Чем больше мощность трансформатора, тем интенсивнее должна быть система охлаждения.

Типы систем охлаждения трансформаторов [1].

Естественное воздушное охлаждение трансформаторов осуществляется путем естественной конвекции воздуха и частично лучеиспускания в воздухе. Такие трансформаторы получили название «сухих». Условно принято обозначать естественное воздушное охлаждение при открытом исполнении С; при защищенном исполнении СЗ; при герметизированном исполнении СГ; с принудительной циркуляцией воздуха СД.

Сухие трансформаторы изготавливают мощностью до 16 МВ·А. В таких трансформаторах используется не масляная, а твердая литая изоляция, состоящая из эпоксидной смолы, отвердителя и активного порошкового наполнителя из кремнезема (диоксид кремния). Размеры и масса активных частей сухих трансформаторов по сравнению с масляными той же мощности значительно больше, но для них не требуется бак, расширитель и другие устройства, как в масляных трансформаторах.

Естественное масляное охлаждение (М) выполняется для трансформаторов мощностью до 16000 кВА включительно. В таких трансформаторах тепло, выделенное в обмотках и магнитопроводе, переда-

ется окружающему маслу, которое циркулируя по баку и радиаторным трубам, передает его окружающему воздуху.

Для лучшей отдачи тепла в окружающую среду бак трансформатора снабжается ребрами, охлаждающими трубами или радиаторами в зависимости от мощности.

Масляное охлаждение с дутьем и естественной циркуляцией масла (Д) применяется для более мощных трансформаторов. В этом случае в навесных охладителях из радиаторных труб помещаются вентиляторы. Вентилятор засасывает воздух снизу и обдувает нагретую верхнюю часть труб. Пуск и останов вентиляторов могут осуществляться автоматически в зависимости от нагрузки и температуры нагрева масла. Трансформаторы с таким охлаждением могут работать при полностью отключенном дутье, если нагрузка не превышает 100% номинальной, а температура верхних слоев масла не более + 55°C, также при минусовых температурах окружающего воздуха и при температуре масла не выше +45°C независимо от нагрузки.

Форсированный обдув радиаторных труб улучшает условия охлаждения масла, а, следовательно, обмоток и магнитопровода трансформатора мощностью до 80000 кВА.

Масляное охлаждение с дутьем и принудительной циркуляцией масла через воздушные охладители (ДЦ) применяется для трансформаторов мощностью 63000 кВА и более.

Охладители состоят из системы тонких ребристых трубок, обдуваемых снаружи вентилятором. Электронасосы, встроенные в маслопроводы, создают непрерывную принудительную циркуляцию масла через охладители. Благодаря большой скорости циркуляции масла, развитой поверхности охлаждения и интенсивному дутью охладители обладают большой теплоотдачей и компактностью. Переход к такой системе охлаждения позволяет значительно уменьшить габариты трансформаторов.

Охладители могут устанавливаться вместе с трансформатором на одном фундаменте или на отдельных фундаментах рядом с баком трансформатора.

В трансформаторах с направленным потоком масла (НДЦ) интенсивность охлаждения повышается, что позволяет увеличить допустимые температуры обмоток.

Масляно-водяное охлаждение с принудительной циркуляцией масла (Ц) принципиально устроено так же, как система ДЦ, но в от-

личие от последнего охладителя состоят из трубок, по которым циркулирует вода, а между трубками движется масло.

Температура масла на входе в маслоохладитель не должна превышать $+70^{\circ}\text{C}$.

Чтобы предотвратить попадание воды в масляную систему трансформатора, давление масла в маслоохладителях должно превышать давление циркулирующей в них воды не менее чем на 0,02 Мпа (2 Н/смг). Эта система охлаждения эффективна, но имеет более сложное конструктивное выполнение и применяется на мощных трансформаторах (160 МВА и более). Масляно-водяное охлаждение с направленным потоком масла (НЦ) применяется для трансформаторов мощностью 630 МВА и более.

На трансформаторах с системами охлаждения ДЦ и Ц устройства принудительной циркуляции масла должны автоматически включаться одновременно с включением трансформатора и работать непрерывно независимо от нагрузки трансформаторов. В то же время, число включаемых в работу охладителей определяется нагрузкой трансформатора. Такие трансформаторы должны иметь сигнализацию о прекращении циркуляции масла, охлаждающей воды или об останове вентилятора.

Маркировка силового трансформатора.

Каждый трансформатор имеет условное буквенное обозначение, которое содержит следующие данные в том порядке, как указано ниже:

- 1) число фаз (для однофазных - О; для трехфазных - Т);
- 2) вид охлаждения - в соответствии с пояснениями, приведенными выше;
- 3) число обмоток, работающих на различные сети (отсутствие буквы – двухобмоточный трансформатор), для трехобмоточного трансформатора Т; для трансформатора с расщепленными обмотками Р;
- 4) буква Н в обозначении при выполнении одной из обмоток с устройством РПН;
- 5) буква А на первом месте для обозначения автотрансформатора.

За буквенным обозначением указывается номинальная мощность, кВА; класс напряжения обмотки (ВН); климатическое исполнение и категория размещения.

Например, ТДТН - 16000/110 - У1: Т- трехфазный трансформатор с системой охлаждения Д - масляное охлаждение с дутьем и естественной циркуляцией масла, Т - трехобмоточный, Н - с регули-

рованием напряжения под нагрузкой, номинальной мощностью 16000 кВА, напряжением ВН 110 кВ; климатическое исполнение - умеренное У; категория размещения 1 (на открытом воздухе).

В установках 110 кВ и выше широкое применение находят автотрансформаторы. *Автотрансформатором* называется трансформатор, две или более обмотки которого гальванически связаны так, что они имеют общую часть. Обмотки АТ связаны электрически и магнитно, и передача энергии из первичной цепи во вторичную происходит как посредством магнитного поля, так и электрическим путем.

К особенности конструкции автотрансформаторов следует отнести необходимость глухого заземления нейтрали обмоток ВН и СН.

Если при изолированной нейтрали произойдет замыкание одной из фаз сети ВН на землю, то потенциалы двух других фаз обмотки СН повысятся до недопустимой величины, опасной для изоляции. Таким образом, автотрансформаторная связь возможна только между обмотками, присоединенными к сетям с эффективно заземленными нейтралью 110 кВ и выше.

Необходимость заземления нейтралей автотрансформаторов приводит к увеличению токов однофазного замыкания на землю.

Другой особенностью автотрансформаторов является пониженное значение U_k , что уменьшает потери напряжения в нормальных режимах, но увеличивает токи короткого замыкания в аварийных режимах.

Несмотря на некоторые недостатки, автотрансформаторы находят широкое применение, так как обладают следующими преимуществами по сравнению с трехобмоточными трансформаторами:

- уменьшение расхода активных и конструктивных материалов;
- снижение потерь мощности и больший КПД;
- возможность изготовления автотрансформаторов больших единичных мощностей.
- меньшая масса, а, следовательно, меньшие габариты, что позволяет создавать автотрансформаторы больших номинальных мощностей, чем трансформаторы;
- более легкие условия охлаждения.

Недостатки автотрансформаторов:

- необходимость глухого заземления нейтрали, что приводит к увеличению токов однофазного КЗ;
- сложность регулирования напряжения;

- опасность перехода атмосферных перенапряжений вследствие электрической связи обмоток ВН и СН.

Регулирование напряжения трансформаторов.

Для нормальной работы потребителей необходимо поддерживать определенный уровень напряжения на шинах подстанций. В электрических сетях предусматриваются способы регулирования напряжения, одним из которых является изменение коэффициента трансформации трансформаторов.

Обмотки трансформаторов снабжаются дополнительными ответвлениями, с помощью которых можно изменять коэффициент трансформации. Переключение ответвлений может происходить без возбуждения (ПБВ), т.е. после отключения всех обмоток от сети или под нагрузкой (РПН).

Устройство ПБВ позволяет регулировать напряжение в пределах $\pm 5\%$, для чего трансформаторы небольшой мощности кроме основного вывода имеют два ответвления от обмотки высшего напряжения: $+ 5\%$ и -5% . Если трансформатор работал на основном выводе 0 и необходимо повысить напряжение на вторичной стороне U_2 , то, отключив трансформатор, производят переключение на ответвление $- 5\%$, уменьшая, тем самым, число витков первичной обмотки. На трансформаторах средних и больших мощностей предусматриваются четыре ответвления $\pm 2 \times 2,5 \%$, переключение которых производится специальными переключателями барабанного типа, установленными отдельно для каждой фазы.

Устройство ПБВ не позволяет регулировать напряжение в течение суток, так как это потребовало бы частого отключения трансформатора для производства переключений, что по условиям эксплуатации практически недопустимо. Обычно ПБВ используется только для сезонного регулирования напряжения.

Регулирование под нагрузкой (РПН) позволяет переключать ответвления обмотки трансформатора без разрыва цепи. Устройство РПН предусматривает регулирование напряжения в различных пределах в зависимости от мощности и напряжения трансформатора (от ± 10 до $\pm 16\%$ ступенями приблизительно по $1,5\%$).

Регулировочные ступени выполняются на стороне ВН, так как меньший по значению номинальный первичный ток позволяет облегчить конструкцию переключающего устройства.

Переход с одного ответвления регулировочной обмотки на другое осуществляется так, чтобы не разрывать ток нагрузки и не замыкать накоротко витки этой обмотки. Это достигается в специальных переключающих устройствах с реакторами или резисторами.

Управление РПН может осуществляться дистанционно со щита управления вручную или автоматически.

Регулирование напряжения в автотрансформаторах имеет некоторую особенность. Если ответвления выполнить в нейтральной точке, то это позволяет облегчить изоляцию переключающего устройства и рассчитать его на меньший ток, так как в общей обмотке автотрансформатора проходит разность токов. Такое регулирование называется связанным, т.е. при переключении ответвлений одновременно меняется количество витков ВН и СН. Это приводит к резким изменениям индукции в сердечнике и колебаниям напряжения на обмотке НН.

Независимое регулирование в автотрансформаторе можно осуществить с помощью регулировочной обмотки на линейном конце среднего напряжения. В этом случае переключающее устройство должно быть рассчитано на полный номинальный ток, а изоляция его - на полное напряжение средней обмотки.

Условия параллельной работы трансформаторов

Параллельная работа трансформаторов широко применяется для обеспечения необходимой нагрузки и надежности работы потребителей. При включении трансформаторов на параллельную работу должны соблюдаться следующие условия:

- одинаковые схемы и группы соединения обмоток;
- равенство коэффициентов трансформации;
- равенство напряжений короткого замыкания;
- соотношение мощностей трансформаторов не более 1:3.

Параллельная работа трансформаторов при несоблюдении указанных условий может привести к недопустимой перегрузке трансформатора, а в некоторых случаях к протеканию токов, соизмеримых с токами короткого замыкания.

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает в себя силовой трансформатор типа ТМ мощностью 25 кВА и лабораторный стенд, на лицевой стороне которого показана принципиальная электрическая схема одной секции распределительного устройства 10 кВ главной пони-

тельной подстанции (ГПП) 220/10 кВ. Технические параметры силового трансформатора приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Технические параметры двухобмоточного масляного трансформатора ТМ-25

Наименование параметра	Величина
Мощность, кВА	25
Напряжение обмоток, кВ:	
- высокого напряжения	10
- низкого напряжения	0,4
Потери холостого хода, кВт	0,13
Потери короткого замыкания, кВт	0,6
Ток холостого хода, %	3%
Напряжение короткого замыкания	4,5%
Диапазон переключения ответвлений без возбуждения (ПБВ), %	±2,5%
Масса, кг:	
- полная	380
- масла	130

Трансформатор подготовлен для учебных целей. Для наглядности и обозрения основных элементов трансформатора часть кожуха бака вырезана. Это обеспечивает хороший доступ ко всем внутренним элементам трансформатора в баке: магнитопроводу, обмоткам, механизму регулирования напряжения и т.д.

Обмотки высокого и низкого напряжений трансформатора присоединены к лабораторному стенду посредством кабелей.

Переменное напряжение 380 В для питания стенда подводится с помощью штепсельного разъема.

4. Правила техники безопасности при выполнении работы

При выполнении лабораторной работы соблюдать инструкцию по технике безопасности при работе в лаборатории «Производство электроэнергии».

Запрещается проводить переключения устройства ПБВ трансформатора при поданном питании на лабораторный стенд лабораторной установки.

5. Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию силового трансформатора ТМ-25, представленного в лаборатории [1].

2. Исследовать возможности устройства ПБВ силового трансформатора ТМ-25.

Для этого необходимо установить устройство ПБВ в нулевое положение.

Включите лабораторную установку. Запишите показания вольтметров, установленных на стенде и измеряющих фазные и линейные напряжения на высокой обмотке трансформатора ТМ-25.

С помощью переносного вольтметра измерьте фазные и линейные напряжения на обмотке низкого напряжения. Данные измерений занесите в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

Результаты измерения напряжений в режиме холостого хода силового трансформатора ТМ-25

Положение устройства регулирования напряжения	Линейные U_L и фазные U_Φ напряжения на высокой стороне трансформатора, В						Линейные U_L и фазные U_Φ напряжения на низкой стороне трансформатора, В						Коэффициент трансформации
				U_A	U_B	U_C				U_a	U_b	U_c	
+2,5 %													
0													
-2,5 %													

Отключите лабораторную установку.

3. Повторите указанный выше опыт для двух других оставшихся положений устройства ПБВ трансформатора ТМ-25. Результаты измерений занесите в таблицу 2.

4. По данным измерений определите коэффициент трансформации трансформатора ТМ-25.

6. Содержание работы

1. Цель работы.

2. Дать описание элементов конструкции, системы охлаждения трансформаторов с напряжением обмоток высокого напряжения 35,110, 220 и 330 кВ (марку трансформатора выдает преподаватель).

3. Таблица с техническими параметрами ТМ-25.

4. Результаты экспериментальных исследований и вычислений.

5. Выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. На каком явлении основана работа трансформатора?
2. Почему сердечники в трансформаторе делают не сплошными, а из тонких изолированных пластин?
3. Назовите основные типы силовых трансформаторов и автотрансформаторов.
4. Назовите основные параметры трансформаторов. Поясните их физический смысл.
5. Какие схемы и группы соединений обмоток имеют трансформаторы?
6. Назовите основные элементы конструкций силовых трансформаторов. Поясните их назначение.
7. Назовите основные системы охлаждения силовых трансформаторов. Поясните их принцип действия и область применения.
8. Какие особенности конструкции имеют автотрансформаторы?
9. Достоинства и недостатки автотрансформаторов.
10. Почему автотрансформаторные обмотки автотрансформатора соединяются по схеме «звезда – звезда с заземленной нейтралью»?
11. Как работают устройства ПБВ?
12. Как работают устройства РПН?
13. Условия параллельной работы трансформаторов.
14. На трансформаторах с системой охлаждения ДЦ и Ц, как включаются устройства циркуляции масла?
15. Назначение термосифонного фильтра на трансформаторах?
16. Принцип работы газового реле трансформатора?
17. Назначение выхлопной трубы и расширителя на силовых трансформаторах.

9. Литература

1. Электрическая часть станций и подстанций. Практическое пособие к лабораторным работам по одноименному курсу для студентов дневной и заочной форм обучения по спец. 1-42 01 03 «Электроснабжение» /Г. И. Селиверстов, В. Н. Петренко, – Гомель, ГГТУ им. П.О. Сухого, 2004. М/ук. № 2459.
2. Проектирование подстанций распределительного электросетевого комплекса: учеб. пособие / С.Е. Кокин, С.А. Дмитриев - Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2018 - 192 с.
3. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций. - М.: Издательский центр Академия, 2005. - 448 с.

Лабораторная работа № 2

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ

1. Цель работы

Изучить конструкции и способы контроля характеристик фотоэлектрических модулей, а также аккумуляторных накопителей

2. Теоретические сведения

Фотоэлектрический модуль (ФЭМ) – это устройство, предназначенное для преобразования солнечной энергии в электрическую энергию. ФЭМ являются основными элементами фотоэлектростанций. Структурная схема фотоэлектростанции изображена на рис. 2.1.

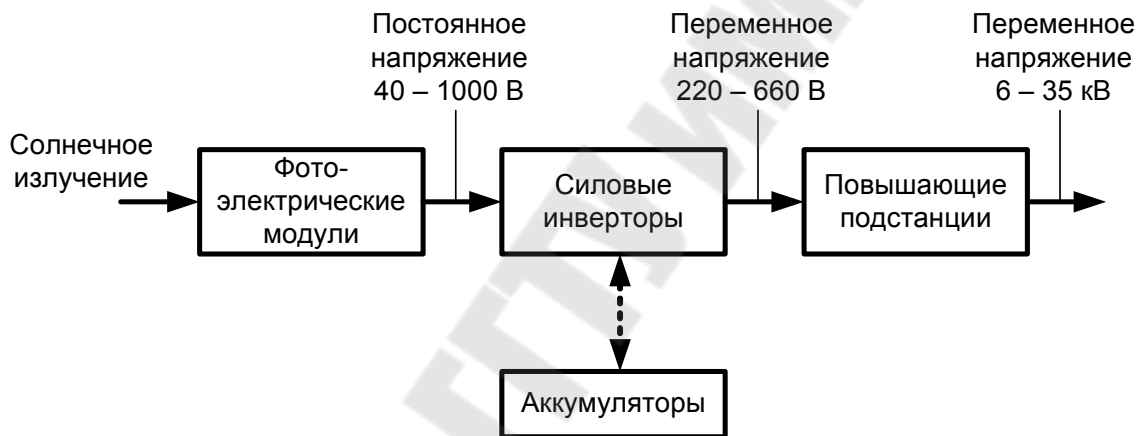


Рис. 2.1. Структурная схема фотоэлектростанции

Источником энергии для фотоэлектростанции является солнечное излучение, уровень которого измеряется в Ваттах на метр квадратный: $\text{Вт}/\text{м}^2$. На широте экватора максимальное значение этой величины может достигнуть $1300 \text{ Вт}/\text{м}^2$, а на широте Республики Беларусь – не более $1100 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Солнечное излучение, попадая на ФЭМ, преобразуется в постоянное напряжение.

В рамках схемы фотоэлектростанции часть ФЭМ соединяется последовательно в секции, а затем полученные секции подключаются между собой параллельно в блок. Таким образом, на выходе блока формируется постоянное напряжение с максимальным значением не более 1000 В. Далее это напряжение подается на силовой инвертор,

преобразующий постоянный ток в переменный при действующем значении выходного напряжения 220, 380 или 660 В с частотой 50 Гц. По такому принципу устроена вся электростанция: один блок фотоэлектрических модулей – один инвертор.

Выходы силовых инверторов соединяются параллельно и затем подключаются к повышающему трансформатору подстанции, на вторичных обмотках которого формируется трехфазная система напряжений значением 6, 10 или 35 кВ, позволяющая передавать энергию на большие расстояния и выдавать ее в энергосистему страны. Накопительные аккумуляторы применяются, как правило, на небольших электростанциях мощностью не более 100 кВт.

Рассмотрим устройство ФЭМ.

ФЭМ состоят из отдельных ячеек – фотоэлементов (рис. 2.2, а).

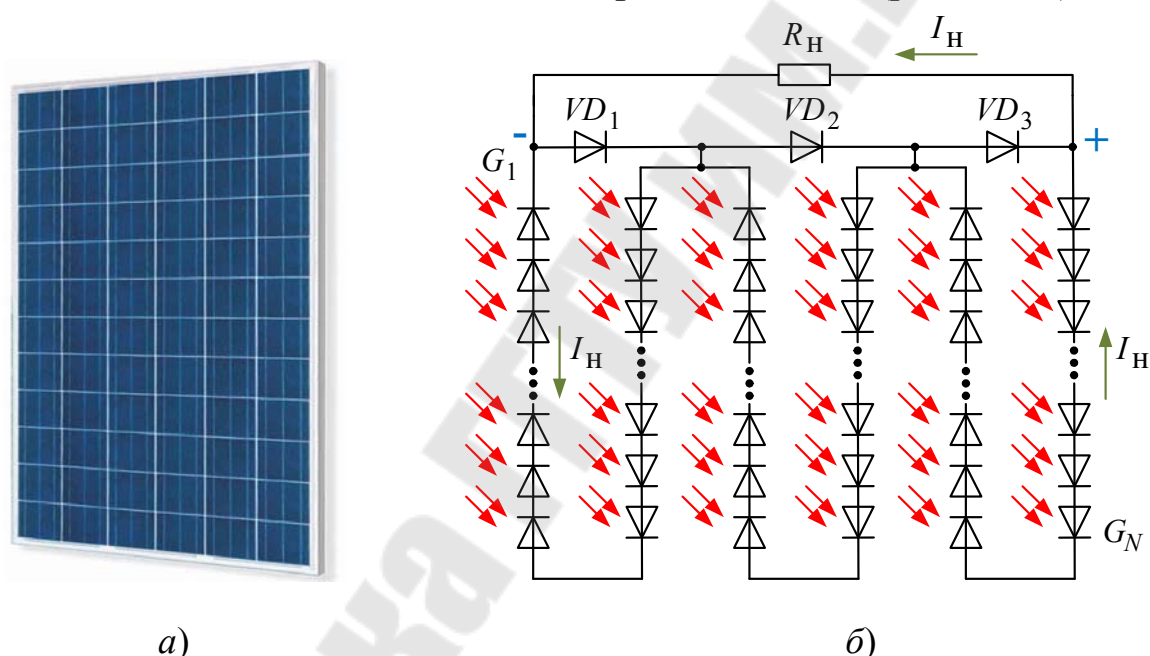


Рис. 2.2. Фотоэлектрический модуль (а) и его внутренняя схема (б)

Внутри каждого фотоэлемента реализован $p-n$ переход между двумя полупроводниками разных типов проводимости. Солнечное излучение, попадая на $p-n$ переход, придает дополнительную энергию электронам, в результате на электродах фотоэлемента возникает разность потенциалов – фотоЭДС. Значение этой ЭДС, как правило, не превышает 0,65 В.

В состав ФЭМ могут входить от 48 до 90 фотоэлементов, размещенных, как правило, в шести вертикальных секциях. Наиболее распространенные конструкции – 60 или 72 фотоэлемента. Все фото-

элементы модуля $G_1 - G_N$ (рис. 2.2, б) соединяются последовательно для повышения значения генерируемого напряжения. Это значит, что в модуле с 72 фотоэлементами максимальное выдаваемое напряжение (в режиме холостого хода) составит: $72 \cdot 0,65 = 46,8$ В.

Таким образом, в исправном равномерно освещенном модуле напряжение на нагрузке равно:

$$U_H = U_G \cdot N, \quad (1)$$

где U_G – напряжение, вырабатываемое одним фотоэлементом; N – количество фотоэлементов в ФЭМ.

На катоде первого фотоэлемента G_1 формируется отрицательный потенциал, а на аноде последнего фотоэлемента G_N – положительный потенциал. Ток нагрузки I_H протекает через обратносмещенные $p-n$ переходы фотоэлементов и через нагрузку.

Параллельно каждой паре вертикальных секций в ФЭМ подключаются обходные диоды (*Bypass Diodes*) $VD_1 - VD_3$ (рис. 2.2, б), расположенные в специальной коробке на обратной стороне модуля (рис. 2.3, а). В равномерно освещенном модуле эти диоды закрыты.

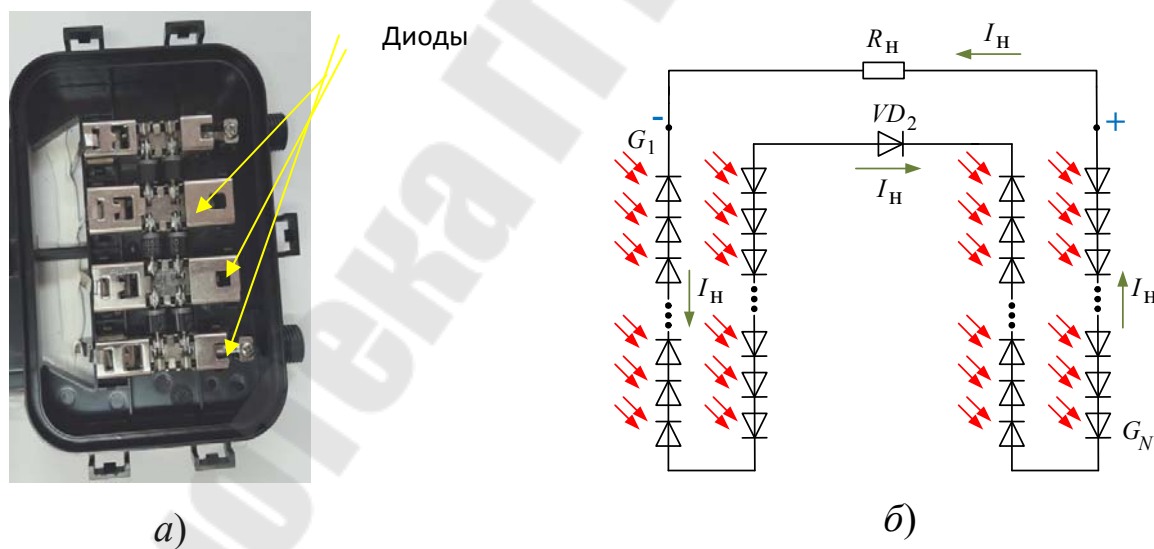


Рис. 2.3. Коробка с обходными диодами (а) и путь протекания тока нагрузки при затенении центральной части ФЭМ (б)

При затенении каких-либо фотоэлементов или их деградации возрастает их сопротивление и сопротивление всего модуля, так как фотоэлементы соединены последовательно. В этом случае ток нагрузки может начать протекать через обходной диод, минуя две секции, как показано на рис. 2.3, б при затенении центральной части ФЭМ. В результате часть ФЭМ продолжает работать, отдавая ток в нагрузку.

Внешний вид части наклейки с параметрами ФЭМ *SF-P672300* (исследуется в лабораторной работе) показан на рис. 2.4.

Model: SF-P672300	
Tolerance:	0 to 3 w
Maximum System Voltage:	DC 1000 V
Maximum Power (W):	300W
Maximum Power Voltage (Vmp):	36.19 V
Maximum Power Current (Imp):	8.29 A
Open Circuit Voltage (Voc):	45.67 V
Short Circuit Current (Isc):	8.74 A
Weight:	23 kg
Modul Application:	Class A
(L/B/T):	1950*992*45 mm
Data refers to: STC 1000w/m2 irradiance 25°C cell temperature spectrum AM 1.5G	

Рис. 2.4. Часть наклейки с параметрами модуля *SF-P672300*

Международные обозначения величин интерпретируются следующим образом:

W – максимальная мощность, выдаваемая модулем;

V_{mp} – напряжение, генерируемое модулем в режиме максимальной выдаваемой мощности;

I_{mp} – ток, генерируемый модулем в режиме максимальной выдаваемой мощности;

V_{oc} – напряжение холостого хода;

I_{sc} – ток короткого замыкания.

Все параметры нормируются для нормальных условий (*STC – Standard Conditions*): $S = 1000 \text{ Вт/м}^2$; $\theta = 25^\circ\text{C}$.

На рис. 2.5 изображено семейство вольт-амперных характеристик ФЭМ *SF-P672300* при разных значениях солнечного излучения, но при одной и той же температуре фотоэлементов. На основе этих характеристик можно определить значения V_{oc} и I_{sc} , а также значения токов и напряжений при различных нагрузках.

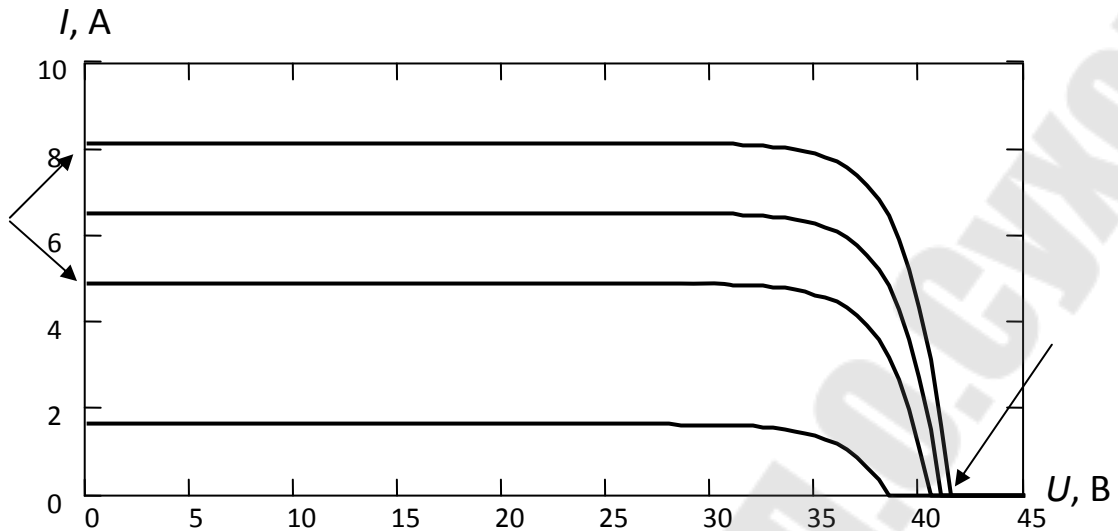


Рис. 2.5. Семейство вольт-амперных характеристик ФЭМ SF-P672300

На рис. 2.6. показано семейство вольт-ваттных характеристик ФЭМ SF-P672300, по которым можно определить значения V_{mp} и I_{mp} в точках максимальной отдаваемой мощности.

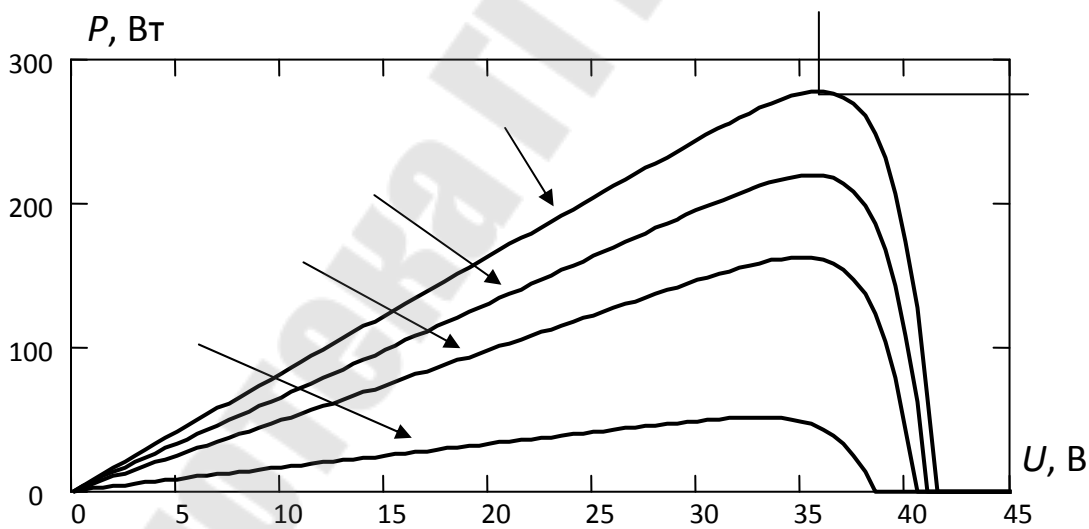


Рис. 2.6. Семейство вольт-ваттных характеристик ФЭМ SF-P672300

Для анализа качества работы ФЭМ используют схемы замещения их фотоэлементов (рис. 2.7) и вольт-амперные характеристики (рис. 2.8).

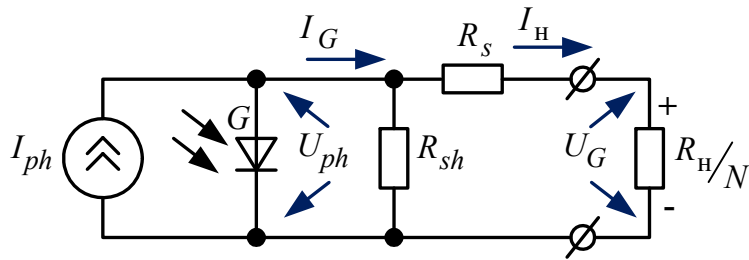


Рис. 2.7. Схема замещения одного фотоэлемента ФЭМ

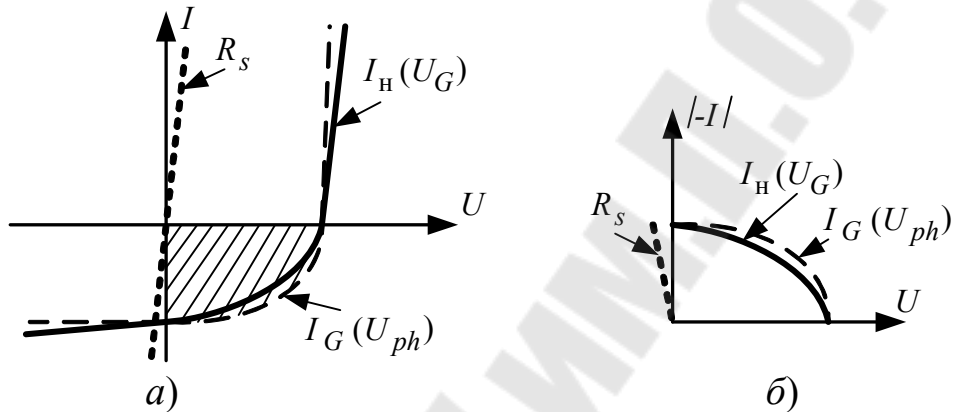


Рис. 2.8. Вольт-амперные характеристики ФЭМ:
a – исходные; *б* – инверсные для генераторного режима

Полупроводниковая составляющая фотоэлемента в схеме замещения представлена эквивалентным фотодиодом G и источником фототока I_{ph} . Чем выше значение солнечного излучения, тем выше значение тока I_{ph} .

В процессе работы через фотоэлемент протекает обратный ток p - n перехода. Однако при анализе работы ФЭМ значение этого тока принимают положительным и используют инверсные вольт-амперные характеристики (рис. 2.5 и рис. 2.8(б)).

Фотоэлементы ФЭМ характеризуются также параллельным R_{sh} и последовательным R_s сопротивлениями.

Если пренебречь влиянием сопротивления R_{sh} , то вольт-амперная характеристика фотоэлемента, показанная зависимостью $I_H(U_G)$ на рис. 2.8, *a*, будет равна сумме вольт-амперных характеристик полупроводниковой части $I_G(U_{ph})$ и сопротивления R_s по отношению к оси тока, как показано на рис. 2.8.

Источник тока I_{ph} и фотодиод G формируют исходную (теоретическую) вольт-амперную характеристику как зависимость $I_G(U_{ph})$ в соответствии с формулой:

$$I_G = K_{ph} \cdot S - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot U_{ph}}{K_B \cdot (\theta + 273)}} - 1 \right) = K_{ph} \cdot S - I_0 \cdot \left(e^{\frac{11594,2 \cdot U_{ph}}{(\theta + 273)}} - 1 \right), \quad (2)$$

где: I_0 – обратный ток $p-n$ перехода при отсутствии солнечного излучения, А; q – заряд электрона, Кл; K_B – постоянная Больцмана, Кл·В/К; U_{ph} – напряжение, генерируемое $p-n$ переходом фотоэлемента, В; θ – температура $p-n$ перехода, °С; K_{ph} – коэффициент пропорциональности, А·м²/Вт; S – солнечное излучение, Вт/м².

Экспериментальные значения параметров для ФЭМ SF-P672300: $I_0 \approx 1,6 \cdot 10^{-9}$ А; $K_{ph} \approx 8,1 \cdot 10^{-3}$ А·м²/Вт; $R_s \approx 1,2$ Ом.

Зависимость $I_H(U_H)$ определяют экспериментальным путем. Тогда, вычитая теоретический график $I_G(U_H)$, рассчитанный на основе формул (2) и (1), из экспериментального графика $I_H(U_H)$ относительно оси тока, получаем график для последовательного сопротивления R_s (рис. 2.9).

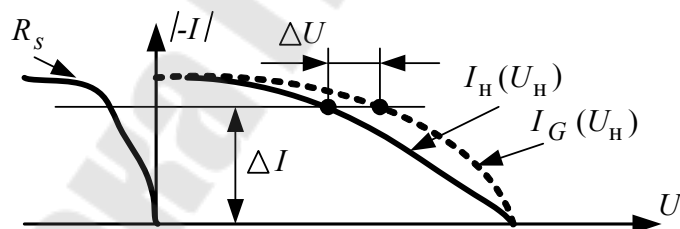


Рис. 2.9. Графический способ определения значения R_s

В горизонтальной области вольт-амперной характеристики график R_s утрачивает линейность. Если из верхней точки его линейного участка провести горизонтальную прямую, то получим значения тока ΔI и разности напряжений ΔU , как показано на рис. 2.9. Тогда по закону Ома можно рассчитать приблизительное значение R_s :

$$R_s = \frac{|\Delta U|}{|\Delta I|} \quad (3)$$

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из фотоэлектрического модуля (ФЭМ) *SF-P672300*, перед которым закреплен светодиодный прожектор (рис. 2.10), и лабораторного стенда (рис. 2.11).



Рис. 2.10. Фотоэлектрический модуль с закрепленным прожектором



Рис. 2.11. Лабораторный стенд

Прожектор закреплен на небольшом расстоянии от одного из фотоэлементов ФЭМ для получения достаточного излучения. От контактов этого фотоэлемента проведены провода в лабораторный стенд, в котором имеются нагрузочные сопротивления, подключаемые тумблерами «Нагрузка». Получаемые значения тока измеряются встроенным амперметром, а напряжение, выдаваемое фотоэлементом, измеряется милливольтметром.

В прожекторе имеется возможность включать разное количество светодиодов, меняя тем самым уровень излучения на поверхности фотоэлемента. Переключения производятся тумблерами «Излучение» на лабораторном стенде. Получаемые значения излучения при разных положениях тумблеров приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Значения излучения на поверхности фотоэлемента

Положения тумблеров «Излучение»				Излучение S, Вт/м ²
№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	
0	0	0	1	130
0	0	1	0	177
0	0	1	1	303
0	1	0	0	192
0	1	0	1	320
0	1	1	0	370
0	1	1	1	470
1	0	0	0	168
1	0	0	1	294
1	0	1	0	340
1	0	1	1	451
1	1	0	0	355
1	1	0	1	459
1	1	1	0	492
1	1	1	1	555

К обратной поверхности исследуемого фотоэлемента прикреплен датчик температуры, соединенный с мультиметром, который установлен рядом с лабораторным стендом и показывает значения температуры в градусах Цельсия.

В нижней части лабораторного стенда расположены элементы для изучения работы контроллера зарядки аккумуляторов «Solar Charge Controller».

Контроллер имеет три пары входов со следующим назначением (слева направо):

- цепь ФЭМ;
- цепь аккумулятора;
- цепь нагрузки.

На лицевой панели контроллера расположены два разъема *USB*, которые могут использоваться как зарядное устройство для внешних аккумуляторов.

Аккумуляторная батарея имитируется блоком конденсаторов, размещенным рядом с лабораторным стендом и подключенным к соответствующей паре входов контроллера.

В качестве нагрузки используется светодиод «Нагрузка аккумулятора», выведенный на лицевую панель стенда.

При включении тумблера «Имитация напряжения ФЭМ» на первую пару контактов контроллера зарядки подается постоянное напряжение значением около 18 В. Однако, если конденсаторы разряжены, контроллер не включится, так как его питание осуществляется от цепи аккумулятора. Для первого запуска контроллера нужно подзарядить конденсаторы путем нажатия на кнопку «Начальная зарядка аккумулятора».

После запуска контроллер начинает заряжать аккумулятор и, при достижении требуемого значения напряжения через выдержку времени включается нагрузка. Все процессы зарядки-разрядки, а также включения-отключения нагрузки отображаются соответствующими пиктограммами на дисплее контроллера.

Питание лабораторного стенда осуществляется от однофазной розетки 220 В через автоматический выключатель, расположенный на его левой боковой панели.

3. Меры по технике безопасности

1. **Внимание!** Перед началом работ нужно убедиться, вилки питания прожектора надежно подключены к розеткам на задней панели стенда! Порядок подключения к розеткам значения не имеет.

2. **Внимание!** Перед включением стенда в розетку 220 В убедитесь, что вводной автоматический выключатель стенда находится в положении отключено!

3. **Внимание!** Строго запрещено отсоединять или шевелить вилки питания прожектора при поданном на стенд напряжении питания!

4. Убедитесь, что металлический бандаж ФЭМ заземлен.
5. **Внимание!** При работе прожектора появляется яркое пятно на поверхности фотоэлемента. Не рекомендуется длительно смотреть на это пятно во избежание проблем со зрением.
6. **Внимание!** Запрещено отставлять прожектор включенным более, чем на 40 минут!
7. Перед включением стенда убедитесь, что все внешние цепи надежно присоединены, и именно:
 - a. вилки питания прожектора (задняя панель);
 - b. разъем измерения напряжения фотоэлемента (задняя панель);
 - c. разъем контактов фотоэлемента (левая боковая панель);
 - d. разъем цепи блока конденсаторов БК (задняя панель);
 - e. контакты датчика температуры (внешний мультиметр).

4. Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучите краткие теоретические сведения.
2. Изучите описание лабораторной установки и найдите требуемое оборудование.
3. Изучите меры по технике безопасности.

Внимание! Запрещено начинать работу с лабораторной установкой без соответствующего допуска преподавателем!

5. Порядок выполнения работы

Подготовка к работе

1. Спишите все параметры с таблички, приклеенной на поверхность ФЭМ. Расшифруйте значения этих параметров, выполнив перевод англоязычных терминов на русский язык, а также воспользовавшись сведениями из теоретической части работы.
2. Подсчитайте количество фотоэлементов N в исследуемом ФЭМ.
3. Подготовьте 4 одинаковые таблицы для измерений вольт-амперных характеристик (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Результаты измерений и расчетов при $S =$

Измерения									
$U_G, В$									
$I_H, А$									
$\theta, ^\circ С$									
Расчеты									
$U_H, В$									
$P_H, Вт$									

4. Выполнив меры по технике безопасности и убедившись, что все тумблеры на лицевой панели стенда находятся в положении «Отключено», включите питание стенда.

Исследование зависимости напряжения холостого хода фотоэлемента ФЭМ от температуры

5. Включите все тумблеры «Излучение». Убедитесь, что прожектор работает.

6. В течение 5 минут записывайте значения температуры θ и напряжения U_G , выдаваемого фотоэлементом ФЭМ в режиме холостого хода (не менее 10 точек для графика).

7. Постройте в отчете зависимость напряжения фотоэлемента ФЭМ от температуры $U_G(\theta)$, сделайте выводы по форме этой зависимости.

Измерение семейства вольт-амперных характеристик фотоэлемента ФЭМ

8. Установите значение излучения S_1 на фотоэлемент в соответствии с вариантом задания по табл. 2.3 и значениями в табл. 2.1.

9. При отключенных нагрузках запишите значения величин в табл. 2: U_G – напряжение, выдаваемой фотоэлементом; I_H – ток, выдаваемый фотоэлементом; θ – текущая температура фотоэлемента.

10. Постепенно подключая нагрузки от №1 до №8, записывайте значения величин в табл. 2.2.

Варианты заданий

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8
$S_1, \text{Вт/м}^2$	116	81	146	116	204	81	116	200
$S_2, \text{Вт/м}^2$	282	200	284	210	330	282	210	284
$S_3, \text{Вт/м}^2$	429	354	403	346	488	403	346	488
$S_4, \text{Вт/м}^2$	560	560	560	560	560	560	560	560

11. Повторите измерения для излучений S_2, S_3, S_4 .
12. Отключите все нагрузки и все секции прожектора.

Расчеты и построение графиков вольт-амперных характеристик ФЭМ (для отчета)

13. Рассчитайте значения напряжения U_n , которые генерировал бы ФЭМ при попадании излучения одновременно на все фотоэлементы по формуле (1), заполнив четвертую строку в табл. 2.2.

14. На одной диаграмме постройте четыре графика экспериментальных вольт-амперных характеристик ФЭМ как зависимости $I_n(U_n)$ по аналогии с рис. 2.5. Сделайте выводы по форме этих графиков.

15. Другим цветом экстраполируйте (продолжите) графически полученные кривые до значения $U_n = 0$.

16. Определите по графикам значения величин V_{oc} и I_{sc} (см. теоретическую часть) для каждого значения излучения. Сделайте выводы по полученным значениям.

Расчеты и построение графиков вольт-ваттных характеристик ФЭМ (для отчета)

17. Рассчитайте значения мощности P_n , которые выдавал бы ФЭМ при попадании излучения одновременно на все фотоэлементы по формуле $P_n = U_n \cdot I_n$, заполнив пятую строку в табл. 2.2.

18. На одной диаграмме постройте четыре графика экспериментальных вольт-ваттных характеристик ФЭМ как зависимости $P_n(U_n)$ по аналогии с рис. 6. Сделайте выводы по форме этих графиков.

19. Определите по графикам значения величин V_{mp} и I_{mp} (см. теоретическую часть) для каждого значения излучения. Сделайте выводы по полученным значениям.

*Расчет значения последовательного сопротивления ФЭМ
(для отчета)*

20. В условиях максимального экспериментального излучения S_4 рассчитайте значения тока I_G для идеализированного фотоэлемента по формуле (2). Для этого примите следующие значения: $S = S_4$; $U_{ph} = U_G$; $I_0 = 1,6 \cdot 10^{-9}$ А; $K_{ph} = 8,1 \cdot 10^{-3}$ А · м² / Вт. Заполните соответствующую таблицу (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Расчет теоретической вольт-амперной характеристики ФЭМ

Измерения при $S = S_4$									
$U_G, В$									
$\theta, ^\circ C$									
Расчеты									
$I_G, А$									
$U_H, В$									

21. Постройте на одной диаграмме экспериментальную зависимость $I_H(U_H)$ при $S = S_4$ и теоретическую зависимость $I_G(U_H)$. Сделайте выводы о влиянии на форму экспериментального графика последовательного сопротивления R_s (см. теоретическую часть).

22. Для определения значения последовательного сопротивления R_s выполните следующие действия:

- двигаясь по кривой $I_G(U_H)$ справа налево, определите точку ΔI на оси тока, где график начинает становиться горизонтальным (см. рис. 9);
- проведите через эту точку горизонтальную линию (как показано на рис. 2.9) и определите значение разности напряжений ΔU ;
- рассчитайте значение R_s по формуле (3).

23. Сравните полученное значение R_s с экспериментальным значением 1,2 Ом, полученным при исследовании изучаемого ФЭМ на открытом солнце.

Изучение работы контроллера зарядки аккумулятора

24. Убедитесь, что все тумблеры «Излучение» и «Нагрузка» отключены.

25. Включите тумблер «Имитация напряжения ФЭМ». Убедитесь, что на дисплее контроллера ничего не отображается.

26. Нажмите кнопку «Начальная зарядка аккумулятора» и удерживайте ее до тех пор, пока на дисплее контроллера не появится изображение. После этого отпустите кнопку. Зарисуйте все пиктограммы, а также значение напряжения на конденсаторах с дисплея контроллера в момент его запуска.

27. Наблюдайте за изменением напряжения. Запишите диапазон изменения напряжения в установившемся режиме, когда батарея полностью заряжена. Убедитесь, что произошло включение нагрузки по светодиоду «Нагрузка аккумулятора» (если этого длительно не происходит, нажмите правую кнопку контроллера). Зарисуйте все пиктограммы с дисплея контроллера для этого режима.

28. Отключите тумблер «Имитация напряжения ФЭМ» и наблюдайте за показаниями на дисплее контроллера, а также за светодиодом «Нагрузка аккумулятора».

29. Зафиксируйте значения напряжения, при которых снижаются уровни на пиктограмме зарядки аккумулятора (зарисуйте изображения пиктограммы рядом со значениями напряжения).

30. Зафиксируйте значение напряжения, при котором отключается нагрузка. Зарисуйте все пиктограммы с дисплея контроллера для этого режима.

31. Отключите питание стенда.

6. Содержание отчета

1. Краткие комментарии к ходу работы.
2. Результаты измерения и построения зависимости $U_G(\theta)$.
3. Результаты измерений вольт-амперных характеристик ФЭМ.
4. Графики измеренных вольт-амперных характеристик ФЭМ.
5. Результаты определения величин V_{oc} и I_{sc} .
6. Графики вольт-ваттных характеристик ФЭМ.
7. Результаты определения величин V_{mp} и I_{mp} .
8. Графики измеренной и расчетной вольт-амперных характеристик ФЭМ для максимального излучения.
9. Результаты определения величин ΔI , ΔU , и R_s .

10. Практические выводы по всем полученным результатам.
11. Результаты измерений и изображения пиктограмм при изучении контроллера зарядки аккумулятора.

7. Контрольные вопросы

1. Что входит в состав фотоэлектростанций?
2. За счет каких физических явлений появляется фотоЭДС?
3. Из чего состоит ФЭМ?
4. Как работает внутренняя схема ФЭМ?
5. Для чего нужны обходные диоды в ФЭМ?
6. Как выглядят вольт-амперные характеристики ФЭМ и какие параметры по ним определяют?
7. Как выглядят вольт-ваттные характеристики ФЭМ и какие параметры по ним определяют?
8. В чем суть величин V_{mp} и I_{mp} ?
9. Что такое схема замещения фотоэлемента ФЭМ и какие параметры в ней присутствуют?
10. Как рассчитывается вольт-амперная характеристика фотоэлемента ФЭМ?
11. Какое влияние оказывают сопротивления R_{sh} и R_s на работу ФЭМ?
12. Как графически определить значение сопротивления R_s ?
13. Какие режимы работы имеет контроллер зарядки аккумулятора?
14. Почему в лабораторной работе прожектор освещает только один фотоэлемент, а не весь ФЭМ?

8. Литература

1. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К., Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - с.
2. Бессель В. В., Кучеров В. Г., Мингалеева Р. Д. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: Учебно-методическое пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, 2016 – 90 с.

Лабораторная работа № 3

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ РАЗЪЕДИНИТЕЛЬ

1. Цель работы

Изучить конструкцию, способы управления и характеристики высоковольтного разъединителя РЛНД-1-10П/200 с приводом ПРНЗ-10.

2. Краткие теоретические сведения

Разъединитель - это коммутационный аппарат, предназначенный для отключения и включения цепей высокого напряжения при отсутствии в них тока, а также для обеспечения безопасности производства ремонтных работ (создание видимого разрыва).

Разъединители не имеют дугогасительных устройств, поэтому ими нельзя отключать токи нагрузки. В связи с этим разъединители нормально используют для включения и отключения цепей, предварительно отключенных выключателем.

Чтобы исключить неправильные операции с разъединителями (отключение и включение тока нагрузки) предусматривается блокировка между выключателем и разъединителем. Блокировка может быть замковой, механической и электромагнитной.

Однако разъединителями допускается переключать цепи с одной системы сборных, шин на другую, успешно включать и отключать дугогасящие катушки при отсутствии в сети замыканий на землю, нейтрали силовых трансформаторов, измерительные трансформаторы напряжения, токи намагничивания трансформаторов и автотрансформаторов и зарядные токи кабельных и воздушных линий электропередач, величины которых установлены ТКП.

Разъединители по числу полюсов могут быть одно- и трехполюсные, роду установки - для внутренних и наружных установок, по конструкции - рубящего, поворотного, катящегося, пантографического и подвесного типа с заземляющими и без заземляющих ножей.

По способу установки различают разъединители с вертикальным и горизонтальным расположением ножей.

К разъединителям предъявляются следующие требования:

1. Контактная система должна обладать необходимой термической и динамической стойкостью.

2. Переходное сопротивление контактов должна быть мало и стабильно.

3. Отключенное положение разъединителя должно надежно фиксироваться механическим запором.

4. Изоляция разъединителей должна обеспечивать надежную работу при дожде, гололеде, запыленности воздуха.

5. Разъединители должны иметь простую конструкцию, удобную для монтажа и эксплуатации.

Условия выбора разъединителей:

По напряжению электроустановки:

$$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{ном}}$$

По длительному току утяжеленного режима:

$$I_{\text{раб. утяж}} \leq I_{\text{ном.р}}$$

Проверка на динамическую стойкость к токам КЗ:

$$i_y \leq I_{\text{дин}}$$

Проверка на термическую стойкость:

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$$

Разъединители для внутренней установки. Для внутренней установки изготавливаются разъединители рубящего типа на напряжение 6-35 кВ однополюсные серии РВО и трехполюсные серии РВ, РЛВ, РВФ, РВК, РВУ, РВРЗ (Р - разъединитель, В - внутренней установки, Л- линейный, Ф - фигурные изоляторы, К - коробчатое сечение контактов, О - однополюсное исполнение, У - усиленное исполнение, Р - рубящего типа, З - с заземляющими ножами;

Однополюсные разъединители (РВУ, РВО) монтируются на опорных изоляторах. На одном изоляторе шарнирно закреплен нож разъединителя, на втором - неподвижный контакт. Для включения и отключения используются привода или изолирующие штанги.

Трехполюсный разъединитель состоит из трех однополюсных разъединителей, смонтированных на общей раме из профильной, стали и имеют один общий привод. Разъединители для внутренней установки (РВ, РВК, РЛВ) на номинальный ток до 1000 А изготавливаются с ножом, состоящим из двух параллельных полос, что способствует их динамической устойчивости (рис. 3.1).

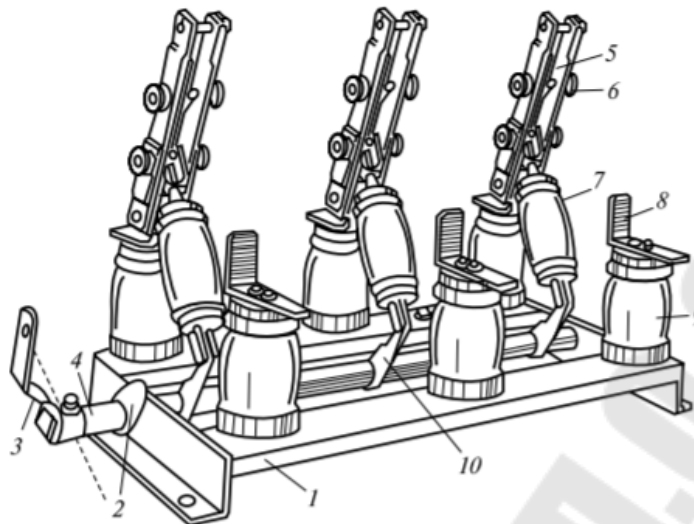


Рис. 3.1. Трехполюсный разъединитель РВ-10 на напряжение 10 кВ и номинальный ток 630 А.

Разъединитель состоит из шести опорных изоляторов 9, установленных на раме 1. На изоляторах закреплены Г-образные стойки, которые с одной стороны являются неподвижными контактами 8, с другой служат для шарнирного крепления ножей подвижных контактов 5. Для обеспечения необходимого контактного нажатия на контактные медные полосы ножей снаружи накладываются стальные плоские пружины 6. Движение подвижных контактов 5 осуществляют посредством фарфоровых изолирующих тяг 7, соединяющих контакты с рычагами 10 на валу 4 разъединителя. Рычаг 3, закрепленный на торцевой части вала 4, перемещается усилием оператора в сторону неподвижных контактов при включении. Упор 2 служит для ограничения угла поворота вала после включения разъединителя. Аналогичную конструкцию имеет более мощный разъединитель РВР-10-1000 (разъединитель внутренней установки, рубящий) на напряжение 10 кВ и номинальный ток 1000 А.

Разъединители (РВРЗ и РВК) изготавливаются на токи от 3000 до 8000 А и выполняются в виде отдельных полюсов. Каждый полюс снабжен валом и изолирующей тягой. Валы отдельных полюсов соединяются в один общий вал при помощи соединительных муфт. Нож разъединителя РВК на 3000 А состоит из двух медных швеллеров, расположенных полками наружу (рис. 3.2).

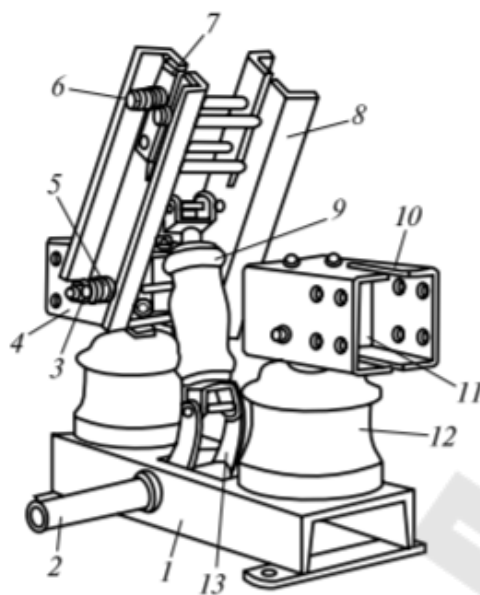


Рис. 3.2. Разъединитель для внутренней установки коробчатого типа РВК на 10 кВ (один полюс)

Такой разъединитель имеет основание из профильной стали 1, на котором установлены опорные изоляторы 12, служащие для крепления неподвижных контактов 4 и 10. Последние выполнены в виде коробов, с установленными внутри чугунными контактодержателями 11. Подвижный контакт (ножи 8) поворачивается на оси 3 и прижимается к контакту 4 под воздействием усилий, создаваемых пружиной поджатия 5. Поворот ножей 8 при включении и отключении разъединителя осуществляется фарфоровой тягой 9, связанной с рычагом 13 вала 2. Во включенном положении ножи 8 прижимаются к контакту 10 силами пружин 6 и дополнительными электромагнитными силами, создаваемыми стальными пластинами 7. При прохождении тока по ножам 8 вокруг них создается магнитное поле. Оно очень сильное снаружи и практически отсутствует внутри между ножами, так как здесь составляющие магнитного потока левого и правого ножей имеют разные направления, вычитаются и существенно ослабляют суммарный поток. В результате внешнее магнитное поле стремится сблизить ножи, прижимая их к контакту 10. Стальные пластины концентрируют поле вокруг ножей, снижая сопротивление магнитному потоку и тем самым увеличивая силу нажатия в контактах. Рассмотренная система взаимного расположения подвижных ножей и стальных пластин образует так называемый магнитный замок. Это простой, но эффективный способ увеличения контактного нажатия используется в большинстве разъединителей рубящего типа. Для получения трехпо-

люсного разъединителя валы отдельных полюсов соединяют между собой муфтами.

Для установки в комплектных экранированных токопроводах применяют «разъединители катящегося типа с поступательным движением ножа».

Разъединители для наружной установки. Разъединители наружной установки имеют изоляторы с хорошо развитой ребристой поверхностью. Наибольшее распространение получили разъединители наружной установки рубящего и поворотного типа, с заземляющими ножами и без них.

Разъединители рубящего типа серии РЛН (РЛНЗ) и РОН (РОНЗ) (Р - разъединитель, Л - линейные контакты, О - однополюсный, Н - наружной установки, З - с заземляющими ножами) имеют три колонки изоляторов: две неподвижные, на которых закреплены шарнирно подвижный и жестко неподвижный контакты главного ножа и одна подвижная, выполняющая роль тяги. При включении и отключении подвижный нож разъединителя движется в вертикальной плоскости. Контактные системы таких разъединителей на напряжение 35 кВ и выше имеют приспособления для ломки льда.

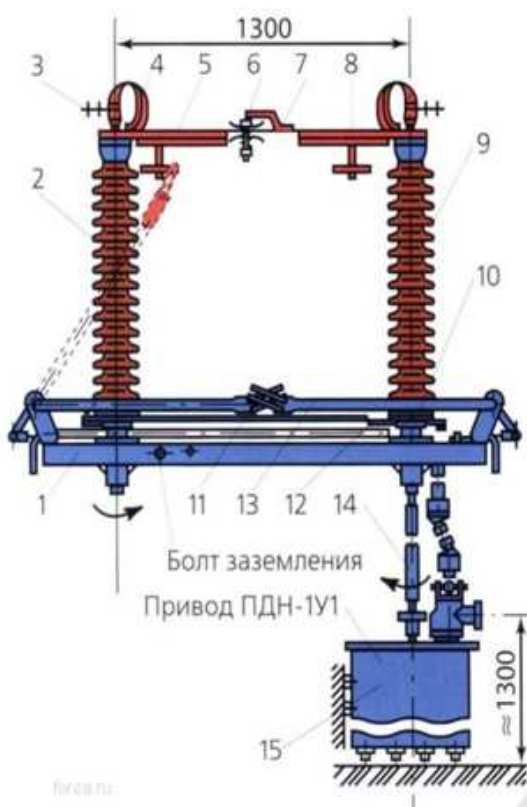
Недостатком этих разъединителей являются большие габариты и необходимость ледокольных приспособлений.

Разъединители горизонтально-поворотного типа выпускаются на напряжения 10-750 кВ серии РЛНД, РЛНДА, РНДЗ (Д - двухколонковый, А - с алюминиевыми ножами, З - наличие заземляющих ножей). В этих разъединителях главный нож состоит из двух подвижных частей, каждая из которых жестко закреплена на опорном изоляторе (рисунок 3.3)

Изоляторы установлены в подшипниках и связаны между собой у основания системой рычагов. Привод приводит во вращение один из изоляторов среднего полюса, а от него движение передается всем остальным изоляторам. Вместе с изоляторами поворачиваются ножи разъединителя (90°).

Разъединители поворотного типа по сравнению с разъединителями рубящего типа проще в изготовлении, требуют меньшего числа изоляторов. Вес и стоимость их также ниже. Однако они требуют несколько большего расстояния между полюсами, поскольку в отключенном положении ножи приближаются к соседним фазам.

Разъединитель РНДЗ-2-110:



- 1 - основание;
- 2 и 9 - колонки изоляторов;
- 3 - зажимы;
- 4 - гибкие связи;
- 5 - нож;
- 6 - пальцевые ламели;
- 7 - лопатка;
- 8 - контакт для заземляющего ножа;
- 10 - подшипник колонки;
- 11 - заземляющие ножи разъединителя;
- 12 - рычаг;
- 13 - тяга;
- 14 - вал;
- 15 - привод

Рис. 3.3. Разъединитель для наружной установки: горизонтально-поворотного типа РНДЗ-2-110.

В установках 500-750 кВ находят применение пантографические подвесные разъединители. Пантографические разъединители со складывающимися ножами из-за сложности конструкции распространения не получили. Подвесной разъединитель надежно включается, отключается при гололеде, обеспечивает значительную экономию металлоконструкций, изоляторов, ошиновки, но имеет сложную конструкцию.

Высоковольтный разъединитель РЛНД-1-10П/200 – это разъединитель наружной установки на напряжение 10 кВ и номинальный ток 200 А, предназначенный для включения и отключения под напряжением участков электрической сети высокого напряжения при отсутствии нагрузочного тока, а также заземления отключенных участков линий при помощи стационарных заземляющих ножей.

Внешний вид разъединителя показан на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Разъединитель РЛНД-1-10П/200:

- 1 – неподвижный изолятор; 2 – поворотный изолятор;
 3 – контактный нож неподвижной колонки; 4 – контактный нож
 неподвижной колонки; 5 – ламели; 6 – контакт заземления;
 7 – нож заземления

Конструктивно разъединитель РЛНД выполнен в виде трехполюсного аппарата, каждый полюс которого имеет одну неподвижную колонку и одну подвижную колонку, с разворотом главных ножей в горизонтальной плоскости.

Разъединитель состоит из рамы, шести колонок изоляторов, токоведущей системы и заземляющего устройства.

Рама представляет собой сварную конструкцию, состоящую из трех параллельно расположенных швеллеров. На одном конце каждого швеллера имеется корпус подшипника, в котором вращается вал с приваренным сверху рычагом, с установленным на нем поворотным изолятором (поз. 2 на рис. 3.4). На другом конце каждого швеллера крепится болтами неподвижный изолятор (поз. 1 на рис. 3.4). К боковой поверхности каждого швеллера приварены пластины, в которых вращается вал ножей заземления (поз. 7 на рис. 3.4).

Рычаги поворотных изоляторов соединены между собой междуполюсной продольной тягой, служащей также для регулировки одновременности включения главных ножей (поз. 3 и 4 на рис. 3.4) всех трех полюсов.

Устройство заземления, соединенное с рамой разъединителя, состоит из рычага с валом регулирующей тяги и рычага, приваренного к валу ножей заземления.

Каждый контактный нож (поз. 3 на рис. 3.4) неподвижной колонки представляет собой медную шину, которая одновременно является и выводом разъединителя.

Контакты подвижных колонок состоят из двух параллельно расположенных прижимных контактных губок (ламелей) (поз. 5 на рис. 3.4), между которыми располагается медная шина (поз. 4 на рис. 3.4). Контактное нажатие ламелей должно составлять 6–8 кг и регулируется соответствующими пружинами.

Ножи заземления (поз. 7 на рис. 3.4) выполнены из стальных пластин с медными контактными наконечниками, контактное напряжение между которыми должно составлять 6–8 кг и также регулируется пружинами.

Ножи заземления должны соединяться с соответствующими контактами заземления (поз. 6 на рис. 1) на контактных шинах подвижных колонок при повороте вала ножей заземления.

Поворот валов контактной системы и системы заземления осуществляется с помощью механического привода ПРНЗ-10 (рис. 3.5).

В корпус привода вмонтированы валы, один из которых служит для управления подвижными колонками, а второй заземляющими ножами. К валам крепятся ручки управления (поз. 1 и 2 на рис. 3.5), трубы привода (поз. 4 и 5 на рис. 3.5), а также фигурные диски (поз. 3 на рис. 3.5).

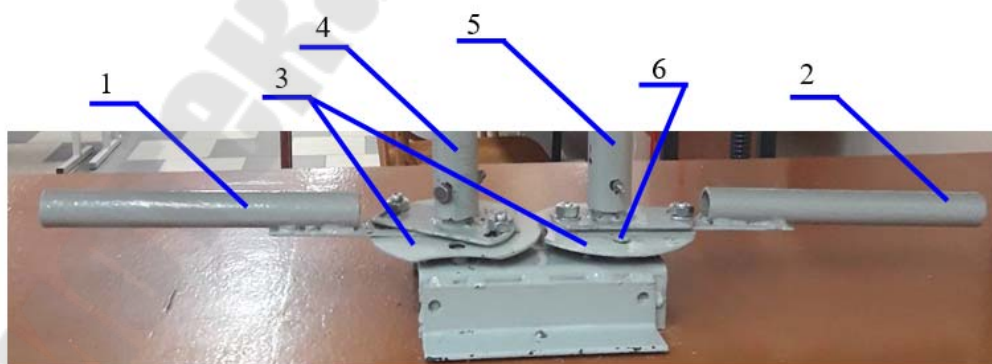


Рис. 3.5. Привод ПРНЗ-10:

- 1 – ручка управления подвижными колонками; 2 – ручка управления заземляющими ножами; 3 – фигурные диски; 4 – труба привода к подвижным колонкам;
- 5 – труба привода к заземляющим ножам; 6 – стопорный элемент

Фигурные диски обеспечивают механическую блокировку, которая не позволяет включение главных ножей при включении заземляющих, и наоборот. Фигурные диски фиксируются в любых конечных положениях стопорными элементами (поз. 6 на рис. 3.5). Для разблокировки стопорного элемента необходимо потянуть за соответствующее кольцо (или рычаг), расположенное под приводом.

Одним из видов испытаний высоковольтных разъединителей является измерение сопротивлений постоянному току их главных контактов и заземляющих ножей.

Для разъединителей с номинальным током 200 А сопротивление главных контактов не должно превышать 120 мкОм, а сопротивление системы заземления не должно быть выше 0,1 Ом.

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из лабораторного стенда (рис. 3.6), на котором расположены разъединитель РЛНД-1-10П/200, привод ПРНЗ-10 и микроомметр (найдите их).

Под столом установки имеются ручки, соединенные нитями с блокировочным механизмом привода (найдите их). Перед перемещением ручки привода необходимо потянуть за ручку под соответствующим фигурным диском привода.

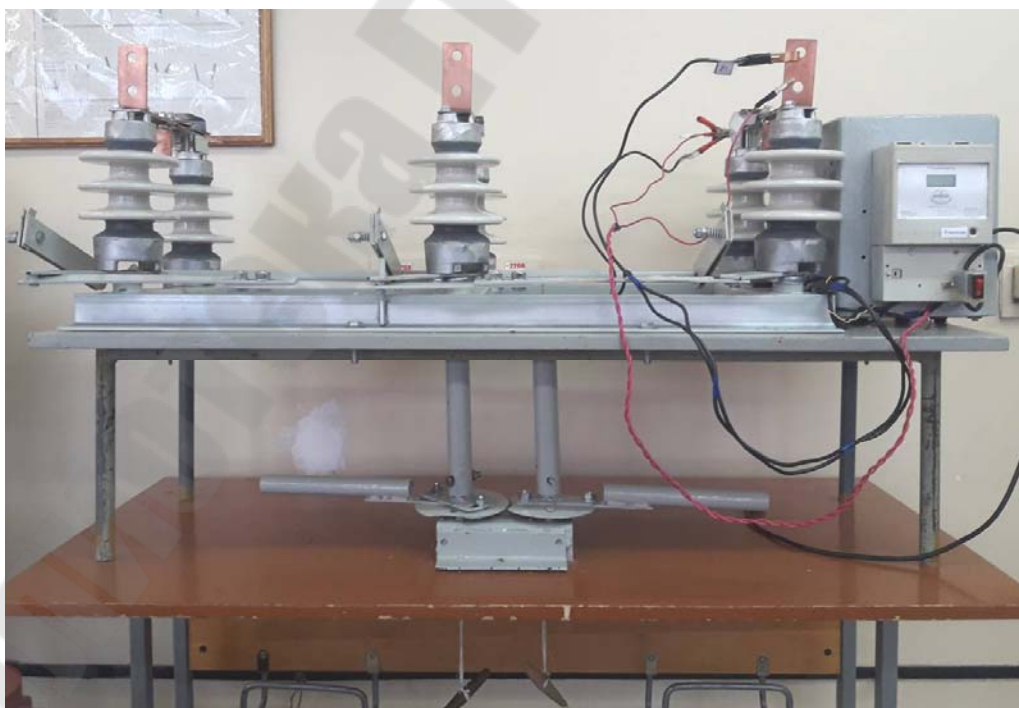


Рис. 3.6. Внешний вид лабораторного стенда

Внимание! Запрещено прикладывать чрезмерные усилия при работе с приводом разъединителя! Вместе с тем, для полного замыкания контактов необходимо поворачивать ручки привода со средним усилием.

Микроомметр состоит из источника постоянного тока и измерительной части. На лицевой панели имеется тумблер включения питания, оснащенный подсветкой, и кнопка «Измерение» для запуска измерений.

Измерения выполняются четырехпроводным методом, то есть прибор пропускает через измеряемое сопротивление постоянный ток значением около 6 А, измеряет падение напряжения на сопротивлении и рассчитывает значение сопротивления по закону Ома. Соответственно, к измеряемому сопротивлению с помощью зажимов подключаются две пары контактов «+I», «-I» и «+U», «-U», как показано на рис.3.7.

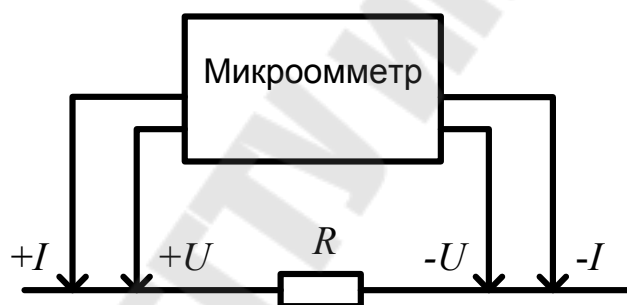


Рис. 3.7. Схема измерения сопротивления микроомметром

Источник тока автоматически отключается с помощью реле по окончании измерений.

Микроомметр измеряет значения сопротивлений в диапазоне от 10 мкОм до 1800 мкОм. Для повышения точности прибор автоматически выполняет измерения 10 раз и рассчитывает среднее значение сопротивления.

Если цепь измерения подключена верно, и измеряемое сопротивление находится в указанном диапазоне, то после нажатия на кнопку «Измерение», находящуюся на лицевой панели прибора, через 7-8 секунд на дисплее появится измеренное значение сопротивления. В противном случае на дисплее прибора могут появляться следующие сообщения:

- «НЕТ ТОКА!» – цепь источника тока «+I», «-I» оборвана;

- «НЕТ НАПРЯЖЕНИЯ!» – неверная полярность подключения или замыкание цепи измерения напряжения « $+U$ », « $-U$ »;
- « >1800 мкОм!» – измеряемое значение сопротивления превышает допустимый диапазон в 1800 мкОм или неисправна цепь измерения напряжения;
- «ПЕРЕГРУЗКА!» – значение тока в цепи превышает допустимое или неисправна цепь измерения тока;
- «ОТКЛЮЧИ ПРИБОР!» – неисправно реле, отключающее источник тока по окончании измерений.

Внимание! При появлении на дисплее микроомметра надписей: «ПЕРЕГРУЗКА!» или «ОТКЛЮЧИ ПРИБОР!», прибор немедленно необходимо отключить от сети!

4. Меры по технике безопасности

8. **Внимание!** Контакты разъединителя имеют острые грани! Во избежание повреждений рук, все работы необходимо выполнять в защитных перчатках.

9. **Внимание!** Запрещено прикладывать чрезмерные усилия при работе с приводом разъединителя!

10. По окончании работы необходимо убедиться, что микроомметр отключен от сети.

5. Задание на допуск к лабораторной работе

9. Изучите краткие теоретические сведения.

10. Изучите конструкции разъединителей и их технические характеристики.

11. Изучите описание лабораторной установки и найдите требуемое оборудование.

12. Изучите меры по технике безопасности.

Внимание! Запрещено начинать работу с лабораторной установкой без соответствующего допуска преподавателем!

6. Порядок выполнения работы

Изучить устройство и принцип работы разъединителей для внутренней установки (типов РВ, РЛЗ, РВФ, РВК, РВУ, РВРЗ) и наружной установки (типов РЛН, РЛНЗ, РОН, РОНЗ, РЛНД, РЛНДА,

подвесных разъединителей) по рекомендованной литературе и образцам, представленным в лаборатории.

Выбрать по справочной литературе коммутационный аппарат, по заданию выданным преподавателем.

Проверка правильности работы главных контактов разъединителя

1. Отсоедините щупы измерительных проводов микроомметра от разъединителя.

2. Найдите ручки привода разъединителя, отвечающие за перемещение подвижных колонок и заземляющих ножей (см. рис. 3.4).

3. Найдите ручки разблокировки дисков привода под столом лабораторной установки.

4. Убедитесь, что заземляющие ножи разъединителя отключены. Если нет, то отключите их, предварительно потянув за соответствующую ручку разблокировки.

5. Выполните операции включения и отключения главных контактов разъединителя. **Внимание!** Запрещено прикладывать чрезмерные усилия при работе с приводом разъединителя! Вместе с тем, для полного замыкания контактов необходимо поворачивать ручки привода со средним усилием. Сфотографируйте или снимите на видео эти процессы.

6. Дайте подробное словесное описание в черновике и отчете того, что происходило при выполнении указанных операций. Все ли правильно происходило в процессе операций?

7. Оставьте контакты разъединителя во включенном положении.

8. Проверьте блокировку заземляющих ножей при включенных контактах разъединителя. Для этого, потянув за соответствующую ручку разблокировки, попытайтесь (без чрезмерных усилий!) поднять заземляющие ножи.

9. Дайте подробное словесное описание в черновике и отчете того, что происходило при выполнении указанных операций. Все ли правильно происходило в процессе операций?

Проверка правильности работы заземляющих ножей разъединителя

10. Отключите контакты разъединителя.

11. Включите заземляющие ножи. Сфотографируйте или снимите на видео этот процесс.

12. Дайте подробное словесное описание в черновике и отчете того, что происходило при выполнении указанных операций. Все ли правильно происходило в процессе операций?

13. Проверьте блокировку включения контактов разъединителя при включенных заземляющих ножах. Для этого, потянув за соответствующую ручку разблокировки, попытайтесь (без чрезмерных усилий!) замкнуть контакты разъединителя.

14. Дайте подробное словесное описание в черновике и отчете того, что происходило при выполнении указанных операций. Все ли правильно происходило в процессе операций?

Измерение сопротивлений главных контактов разъединителя

15. Отключите заземляющие ножи.

16. Включите контакты разъединителя.

17. Присоедините щупы измерительных проводов микроомметра к одному из полюсов разъединителя в соответствии с рис. 3.7.

18. Включите питание микроомметра.

19. Запустите пробное измерение сопротивления. Убедитесь, что на дисплее прибора отображается некоторое значение. Если этого не произошло, проверьте правильность подключения измерительной цепи прибора.

20. Выполните измерение сопротивлений каждого из полюсов разъединителя. При переключении измерительных щупов питание прибора необходимо отключать тумблером.

21. В черновике и отчете сделайте выводы о качестве контактов разъединителя (см. теоретическую часть).

22. Для полюса, заданного преподавателем, выполните измерение его сопротивлений при полностью замкнутых контактах, наполовину замкнутых и слегка замкнутых.

23. Сделайте выводы о влиянии степени замыкания контактов на значение их сопротивления.

Измерение сопротивления заземляющих ножей разъединителя

24. Отключите контакты разъединителя.

25. Включите заземляющие ножи.

26. Подключите одну пару измерительных щупов микроомметра к медному (гибкому) контакту системы заземления разъединителя, а вторую пару измерительных щупов – к заземленному контакту ближайшего полюса.

27. Выполните измерение сопротивления заземляющих ножей разъединителя.

28. Сравните полученное значение с сопротивлениями контактов разъединителя. В отчете объясните полученные результаты.

29. Выполните измерение сопротивлений заземляющих ножей разъединителя при полностью замкнутых ножах, наполовину замкнутых и слегка замкнутых.

30. Сделайте выводы о влиянии степени замыкания заземляющих ножей на значение их сопротивления.

7. Содержание отчета

Отчет должен содержать краткие комментарии к ходу работы, схему подключения микрометра, подробное описание проведенных операций и полученных результатов.

По заданию преподавателя привести расчет выбора и технические данные разъединителя. Исходные данные для расчета и выбора аппарата взять у преподавателя.

Также необходимо сделать выводы о качестве и работоспособности исследуемого разъединителя.

8. Контрольные вопросы

1. Назначение разъединителей и условное графическое обозначение его на электрической схеме.

2. Операции, разрешаемые проводить разъединителями.

3. Требования, предъявляемые к разъединителям.

4. Конструктивное устройство разъединителей внутренней установки.

5. Конструктивное устройство разъединителей наружной установки.

6. Назначение заземляющих ножей.

7. Какие разъединители применяются на токи 3000 А и выше? Их конструктивная особенность.

8. Преимущество разъединителей поворотного типа от рубящего.

9. Что согласно ПТЭ разрешается отключать и включать разъединителями.

10. Условия выбора разъединителей.

11. Измерение сопротивлений главных контактов разъединителя и обоснование результатов замеров.

7. Литература

1. Бохан А.Н. Проектирование подстанций систем электроснабжения: учеб. пособие / А. Н. Бохан ; М-во образования Респ. Беларусь; Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 311 с.

2. Сибикин Ю.Д. Электрические подстанции. - М.: РадиоСофт, 2013.

Лабораторная работа № 4 ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВАКУУМНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПРИВОДОМ

1. Цель работы

Изучить конструкцию, схемы управления и характеристики высоковольтного вакуумного выключателя с электромагнитным приводом *ВВ/TEL-10*

2. Теоретические сведения

Вакуумный выключатель *ВВ/TEL-10* предназначен для коммутации электрических цепей при нормальных и аварийных режимах в сетях трехфазного переменного тока (частота 50 Гц) с номинальным напряжением до 10 кВ включительно.

В состав выключателя входят три основных элемента: коммутационный модуль, блок управления *ВУ/TEL* и блок питания *ВР/TEL*.

Коммутационный модуль (рис. 4.1) состоит из трех полюсов, установленных на металлическом основании, в котором размещаются электромагнитные приводы каждого полюса, удерживающие по принципу «магнитной защелки» коммутационный модуль во включенном положении длительное время после прерывания тока в катушках электромагнитов привода.



Рис. 4.1. Коммутационный модуль выключателя *ВВ/TEL-10*

По отношению к схемам подключения коммутационный модуль имеет 3 силовых контакта и 12 блок-контактов (6 нормально-замкнутых и 6 нормально-разомкнутых). Блок-контакты используются во внешних цепях защиты, управления и сигнализации. Также имеется 1 служебный нормально-замкнутый блок-контакт, обеспечивающий согласованную работу модуля управления и коммутационного модуля.

В основу работы выключателей серии *VB/TEL* заложен принцип гашения дуги переменного тока в вакуумной дугогасительной камере при разведении контактов в глубоком вакууме (остаточное давление порядка 10^{-6} мм рт. ст.). Носителями заряда при горении дуги являются пары металла. Из-за практического отсутствия среды в межконтактном промежутке, конденсация паров металла в момент перехода тока через естественный ноль осуществляется за чрезвычайно малое время (10^{-5} с), после чего происходит быстрое восстановление электрической прочности межконтактного промежутка. Электрическая прочность вакуума составляет более 30 кВ/мм, что гарантирует отключение тока при расхождении контактов более 1 мм.

Каждый полюс коммутационного модуля (рис. 4.2) содержит вакуумную дугогасительную камеру ВДК/*TEL*, имеющую два контакта: подвижный 2 и неподвижный 3.

Контакты дугогасительной камеры имеют электрическую связь с терминалами коммутационного модуля. Неподвижные контакты крепятся к верхнему контактному терминалу 6 посредством конусной посадки. Подвижные контакты связаны механически с приводами через тяговые изоляторы 4, а электрическая связь обеспечивается с помощью гибких токосъемов, которые подсоединяются к нижним терминалам 7 каждого полюса коммутационного модуля.

Верхний и нижний терминалы закреплены на опорном изоляторе, а сам изолятор – на металлическом П-образном основании.

Подвижные элементы каждого полюса во время коммутации совершают возвратно-поступательное движение вдоль одной вертикальной оси.

Привод коммутационного модуля состоит из статора электромагнита 11, якоря 12, катушки 13, пружин дополнительного поджатия 14 и отключения 15. Катушки электромагнита соединены параллельно, за счет чего обеспечивается электрическая синхронизация работы всех трех полюсов коммутационного модуля.



Рис. 4.2. Конструкция полюса коммутационного модуля выключателя *BB/TEL-10*

Полюса механически связаны между собой общим синхронизирующим валом 16. Он обеспечивает одновременность коммутации вакуумных дугогасительных камер всех трех полюсов. На вал установлен кулачок 17, управляющий микропереключателями 18, которые выполняют функции блок-контактов во внешних вспомогательных цепях защиты, управления и сигнализации.

В момент подачи **команды включения** на модуль управления происходит разряд включающего конденсатора, находящегося в этом модуле, на катушку электромагнитного привода коммутационного модуля, и начинается процесс включения выключателя.

По мере роста тока в обмотке электромагнитного привода сила электромагнитного притяжения между якорем и статором возрастает до величины, превышающей силу противодействия пружины отключения. В этот момент якорь привода начинает двигаться по направлению к статору, толкая тяговый изолятор и подвижный контакт вакуумной дугогасительной камеры. В процессе движения происходит пе-

ремещение тягового изолятора, сжатие пружины отключения и пружины дополнительного поджатия.

В момент замыкания контактов подвижный контакт останавливается, а якорь продолжает двигаться еще на 2 мм, поджимая контакты через пружину дополнительного поджатия

Отключающая пружина привода в процессе движения якоря сжимается, накапливая потенциальную энергию для выполнения операции отключения модуля. Перемещение якоря передается на синхронизирующий вал, поворачивая его в процессе движения для управления вспомогательными контактами.

Намагниченные до насыщения якорь и статор создают настолько мощный остаточный магнитный поток, что его достаточно для удержания якоря привода (и соответственно, контактов модуля) во включенном положении даже после отключения питания конденсаторных батарей модулей управления. Принцип, на котором основывается данный способ включения, и удержания выключателя во включенном состоянии называется «**магнитная защелка**».

При подаче **команды отключения** на соответствующий вход модуля управления происходит разрядка предварительно заряженного отключающего конденсатора, находящегося в модуле управления. При этом обеспечивается протекание тока через обмотку в течение 15-20 мс в направлении, противоположном току включения.

Ток отключения частично размагничивает магнитную систему (якорь-статор) до значения, при котором, якорь под действием отключающей пружины сможет начать двигаться вниз.

Совместное воздействие отключающей пружины и пружины дополнительного поджатия контактов является достаточным для того, чтобы «оторвать» примагниченный якорь от статора. Образовавшийся воздушный зазор в приводе резко уменьшает силу притяжения, поэтому якорь под действием пружин отключения и поджатия интенсивно разгоняется и после 2 мм свободного движения ударным воздействием увлекает за собой подвижный контакт вакуумной дугогасительной камеры. Энергии ударного воздействия достаточно для разрыва точек микросварки на поверхности контактов, образующихся в момент зажигания дуги.

Размыкание контактов происходит с интенсивным ускорением, способствуя достижению максимальной отключающей способности коммутационного модуля.

Выключатель может быть отключен вручную. Для ручного отключения необходимо повернуть блокировочный вал против часовой стрелки.

Простейшая схема управления выключателем показана на рис. 4.3.

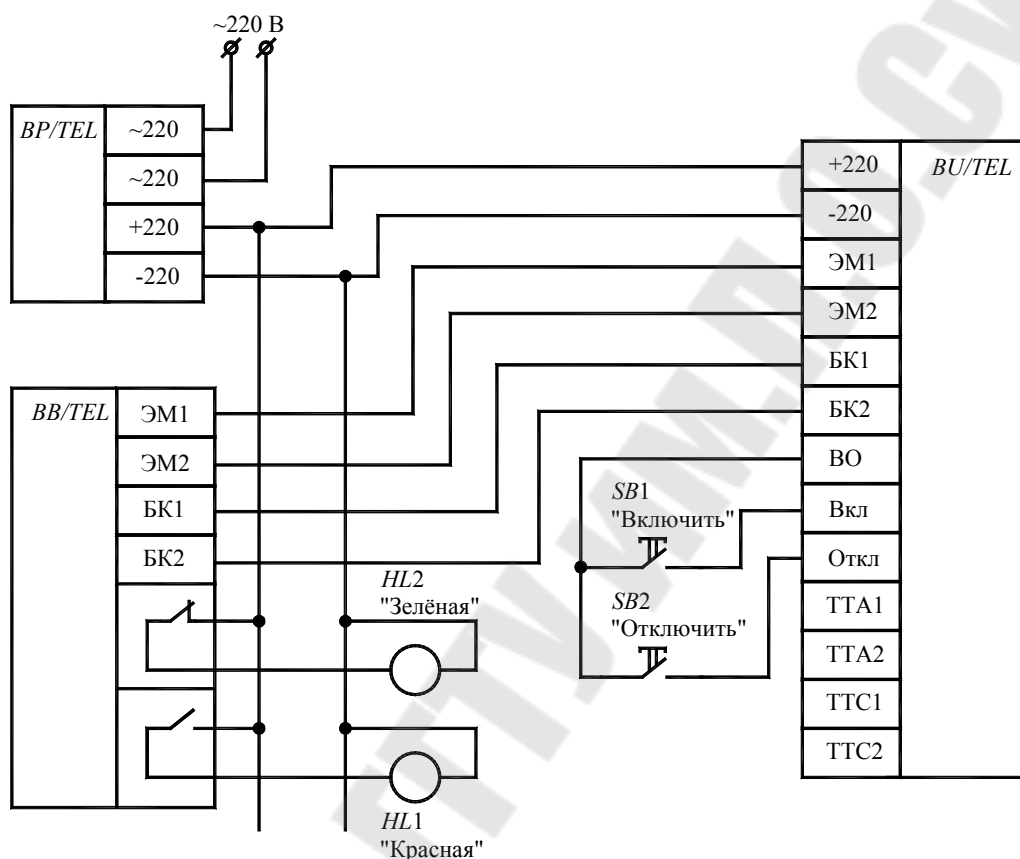


Рис. 4.3. Простейшая схема управления выключателем *BB/TEL-10*

На схеме рис. 4.3 представлены следующие элементы:

- коммутационный модуль *BB/TEL*;
- блок управления *BU/TEL*;
- блок питания *BP/TEL*;
- сигнальные лампы HL_1 , HL_2 ;
- кнопки управления SB_1 , SB_2 .

Схема рис. 4.3 работает следующим образом.

На вход «~220» блока питания *BP/TEL* подается переменное или постоянное напряжение с действующим значением 220 В. На выходе *BP/TEL* формируется стабилизированное постоянное напряжение значением 220 В, которое используется для питания блока управления *BU/TEL* и для оперативных цепей управления выключателем.

Выход блока управления *BU/TEL* «ЭМ1, ЭМ2» для управления электромагнитом выключателя соединяется с соответствующим входом коммутационного модуля *BB/TEL*.

Вспомогательный блок-контакт «БК1, БК2» от коммутационного модуля *BB/TEL* подключается к соответствующему входу блока управления *BU/TEL*. По положению этого контакта блок управления контролирует текущее положение выключателя.

Нормальное положение высоковольтного выключателя – отключен. В этом случае все его блок-контакты имеют исходные положения. То есть в схеме на рис. 4.3 должна светиться зеленая лампа HL_2 .

На лабораторном стенде имеется встроенный секундомер. Его подключают к главным контактам выключателя любой фазы. После включения питания, а также при нарушении подключения на его дисплее должны отображаться точки. При нажатии на кнопку «Сброс» на дисплее появляются нули, и секундомер готов к работе.

Запускается секундомер автоматически при нажатии на кнопку SB_1 или на кнопку SB_2 . Останавливается секундомер при измерении положения предварительно обесточенного контакта («сухого» контакта), подключенного к его входу. При этом секундомер автоматически определяет тип контакта: нормально-разомкнутый или нормально-замкнутый.

Показания секундомера изменяются от 0 до 999 мс. В случае переполнения на дисплее отображаются черточки.

Коммутационный модуль вакуумного выключателя *BB/TEL-10* подсоединен к лабораторному стенду через внешний разъем, расположенный на лицевой панели.

Включение лабораторного стенда осуществляется автоматическим выключателем, расположенным в левом нижнем углу. После включения должна начать светиться сигнальная лампа питания, а на лицевой панели блока питания *BP/TEL* должен начать светиться светодиод «ГОТОВ».

При нажатии кнопки SB_1 «Включить» с выхода «ВО» блока управления подается напряжение на его вход «Вкл.», начинает протекать ток разрядки встроенного конденсатора через выход «ЭМ1, ЭМ2» и электромагнит выключателя в направлении, противоположном предыдущему состоянию, что приводит к включению выключателя. При этом главные контакты выключателя замыкаются, нор-

мально-разомкнутые блок-контакты также замыкаются, а нормально-замкнутые блок-контакты размыкаются. В схеме на рис. 4.3 красная лампа HL_1 должна начать светиться, а зеленая лампа HL_2 должна погаснуть.

При нажатии кнопки SB_2 «Отключить» с выхода «ВО» блока управления подается напряжение на его вход «Откл.» и происходит отключение выключателя по аналогичному сценарию.

У блока управления BV/TEL имеются дополнительные входы питания от измерительных трансформаторов тока «ТТА1, ТТА2» и «ТТС1, ТТС2», включенных, соответственно, в фазы «А» и «С» контролируемой линии электропередачи, как показано на рис. 4.4. Эта схема задействуется, когда потеряно оперативное напряжение и все конденсаторы в блоке питания и блоке управления разряжены. При достижении тока на вторичной обмотке одного из трансформаторов тока T_1, T_2 значения 3 А, конденсатор отключения в блоке управления заряжается и при нажатии на кнопку SB_2 «Отключить» происходит отключение выключателя. Операция включения в данном режиме не предусмотрена.

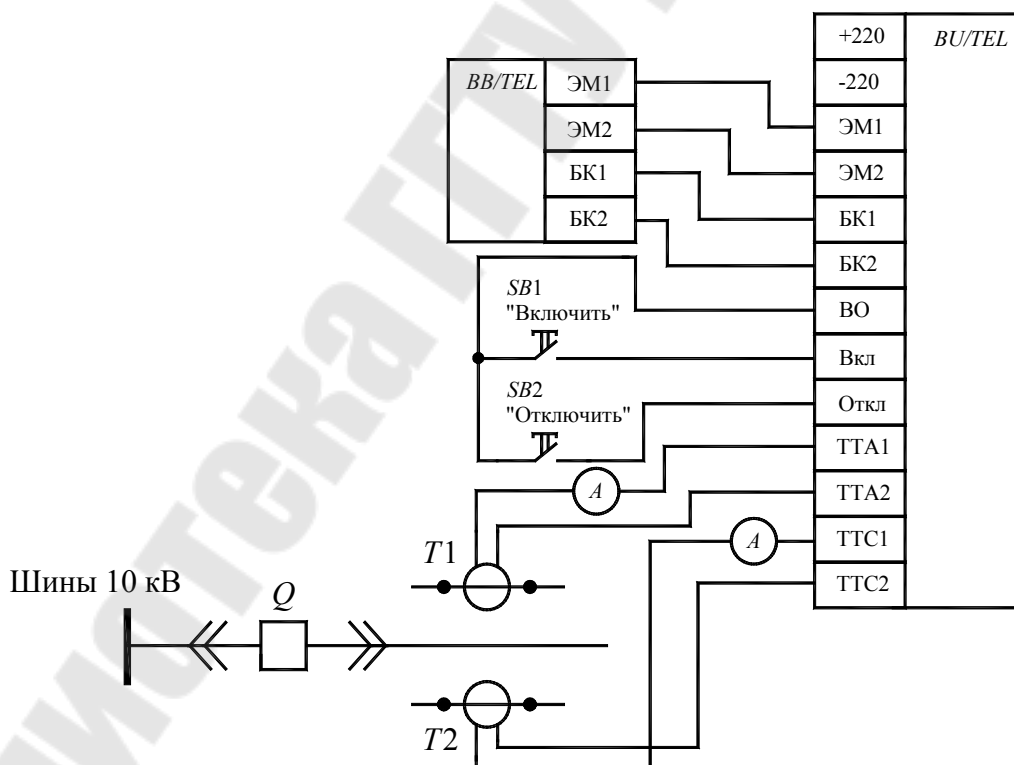


Рис. 4.4. Схема питания от трансформаторов тока

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из лабораторного стенда (рис. 4.5) и вакуумного выключателя *BB/TEL-10* (рис. 4.6).



Рис. 4.5. Внешний вид лабораторного стенда



Рис. 4.6. Внешний вид коммутационного модуля вакуумного выключателя *BB/TEL-10*

На лицевой панели лабораторного стенда расположены следующие элементы (найдите их):

- блок управления *BU/TEL*;

- блок питания BP/TEL ;
- электронный секундомер;
- кнопки ручного управления SB_1, SB_2 ;
- сигнальные лампы HL_1, HL_2 ;
- амперметры PA_1, PA_2 ;
- трансформаторы тока T_1, T_2 ;
- клеммы для сборки схем.

В левой части стенда имитируется фрагмент высоковольтного распределительного устройства на напряжение 10 кВ с высоковольтным выключателем Q . При нажатии на кнопку «Нагрузка 10 кВ» на выходах трансформаторов тока T_1, T_2 появляются токи, которые могут быть использованы в качестве дополнительной цепи питания блока управления BU/TEL .

4. Меры по технике безопасности

Значение напряжения на клеммах лабораторного стенда не превышает 24 В. Опасное для жизни напряжение 220 В находится в клеммных колодках высоковольтного выключателя.

Внимание! Запрещено дотрагиваться до высоковольтного выключателя во время переключений!

Внимание! Запрещено отсоединять разъем на лицевой панели при поданном на лабораторный стенд напряжении питания!

Внимание! После отключения лабораторного стенда на клеммных колодках коммутационного модуля высоковольтного выключателя может оставаться опасное для жизни напряжение в течение 5 минут!

Внимание! Вовремя срабатывания высоковольтный выключатель издает довольно громкий щелчок и слегка вздрагивает!

Внимание! Запрещается включение или отключение выключателя с интервалом менее 3 секунд!

Внимание! Запрещается многократное (более 5 раз) включение выключателя с интервалом менее 8 секунд!

Внимание! Все схемы перед включением стенда должен проверить преподаватель!

5. Задание на допуск к лабораторной работе

1. Прочитать краткие теоретические сведения.
2. Внимательно изучить описание лабораторной установки и ответить на вопросы преподавателя.
3. Внимательно изучить меры по технике безопасности и ответить на вопросы преподавателя.

6. Порядок выполнения работы

Исследование временных характеристик выключателя

1. На лабораторном стенде соберите схему, показанную на рис. 4.3. Используйте закороченные клеммы как шинки оперативного напряжения.

2. Соедините вход секундомера с клеммами одного из главных контактов выключателя (по заданию преподавателя).

3. Включите питание стенда. Убедитесь, что на лицевой панели блока питания *BP/TEL* начал светиться светодиод «ГОТОВ».

4. На дисплее секундомера должны появиться точки. Нажмите кнопку «Сброс», чтобы приготовить секундомер к работе. При этом на его дисплее должны отобразиться нули.

5. По состоянию сигнальных ламп определите текущее состояние выключателя. Продумайте, какую кнопку нужно нажать, чтобы перевести его в противоположное состояние.

6. Переведите выключатель в противоположное состояние, соблюдая меры по технике безопасности. Запишите показания секундомера как время включения или время отключения.

7. Выполните еще одну операцию с выключателем, измерив по секундомеру соответствующее время.

8. В отчете сравните полученные значения времени включения и отключения выключателя с его справочными данными. Сделайте выводы о качестве работы исследуемого выключателя.

Исследование работы блокировок при управлении выключателем

9. Проверьте работу блокировки включения. Для этого подайте команду отключения, и удерживая ее, подайте команду включения. Выключатель не должен включиться.

10. Проверьте работу блокировки от повторных включений (прыганий). Для этого подайте команду включения, и удерживая ее,

подайте команду отключения. Продолжайте удерживать команду включения. Выключатель должен отключиться и не включаться.

11. Переведите выключатель в положение «Включено».

12. Отключите питание стенда.

Исследование работы схемы питания от трансформаторов тока

13. Отсоедините от схемы провода, которые подключены к выходу блока питания *BP/TEL*.

14. Присоедините вторичные обмотки трансформаторов тока T_1 , T_2 последовательно с амперметрами к соответствующим входам блока управления *BU/TEL*, как показано на рис. 4.4.

15. Вход секундомера подключите к одному из главных контактов выключателя.

16. Включите питание стенда.

17. Выждите не менее 2 минут.

18. Сделайте выводы о состоянии сигнальных ламп.

19. Нажмите кнопку «Нагрузка 10 кВ» и не отпускайте ее. Запишите показания амперметров.

20. Выполните операцию отключения выключателя и измерьте время отключения.

21. Не отпуская кнопку «Нагрузка 10 кВ», попытайтесь выполнить операцию включения выключателя и убедитесь, что этого не произошло.

22. Отключите питание стенда. Разберите схему.

23. В отчете сравните полученное значение времени отключения выключателя с его справочными данными для рассматриваемого режима работы. Сделайте выводы о качестве работы исследуемого выключателя.

7. Содержание работы

1. Технические данные выключателя ВВ/TEL-10 изученного в лабораторной аудитории.

2. Схема управления выключателем.

3. Определить собственное время включения и отключения выключателя.

4. Зафиксировать результаты измерения.

5. Опыт выполнить три раза и определить среднее значение собственного времени включения и отключения выключателя.

6. Результаты измерений и выводы.

8. Контрольные вопросы

1. Назначение высоковольтных выключателей.
2. Условное графическое обозначение на электрической схеме высоковольтного выключателя.
3. Область применения вакуумных выключателей.
4. Из каких основных частей состоит выключатель ВВ/TEL-10? Какие функции они выполняют?
5. Что такое «магнитная защелка»?
6. Почему в выключателе ВВ/TEL-10 нет отдельных электромагнитов включения и отключения?
7. Опишите конструкцию полюса выключателя ВВ/TEL-10.
8. Как происходят процессы включения и отключения выключателя ВВ/TEL-10?
9. Опишите принцип работы схемы управления выключателем ВВ/TEL-10.
10. Опишите принцип работы схемы питания блока управления от трансформаторов тока.
11. В чем преимущество вакуумного выключателя с магнитной защелкой перед вакуумным выключателем обычной конструкции?
12. Преимущество вакуумных выключателей перед масляными выключателями.
13. Соотношение между номинальным временем включения и временем отключения.
14. Назначение привода высоковольтного выключателя.

9. Литература

1. Электрические подстанции. Учебник Почаевец Виктор Степанович. ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» Москва, печ. л. 30,75.
2. Проектирование подстанций распределительного электросетевого комплекса: учеб. пособие / С.Е. Кокин, С.А. Дмитриев - Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2018 - 192 с.
3. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций. - М.: Издательский центр Академия, 2005. - 448 с.

Лабораторная работа № 5

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ВАКУУМНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ С ПРУЖИННЫМ ПРИВОДОМ

1. Цель работы

Изучить конструкцию, способы управления и характеристики высоковольтного вакуумного выключателя с моторно-пружинным приводом ВВ/РТН-10.

2. Теоретические сведения

Выключатель вакуумный серии ВВ/РТН-10 трехполюсного исполнения с моторно-пружинным приводом предназначен для коммутации тока в сетях трехфазного переменного тока частоты 50 Гц с номинальным напряжением не более 10 кВ с изолированной или компенсированной нейтралью. Выключатель обеспечивает оперативную коммутацию потребителей электроэнергии при нормальных и аварийных режимах с номинальным током нагрузки до 1600 А и токами короткого замыкания до 31,5 кА.

Выключатель серии ВВ/РТН-10 относится к высоковольтным вакуумным выключателям, в которых гашение дуги осуществляется в вакуумной дугогасительной камере (ВДК).

При расхождении контактов в ВДК, установленной внутри керамического цилиндра, возникает электрическая дуга, представляющая собой проводящую среду из паров металла контактов. Неподвижный и подвижный контакты подключаются к внешним токовым вводам. Неподвижный контакт жестко через опорный изолятор присоединяется к корпусу выключателя, а подвижный контакт – к приводу выключателя. Ход подвижного контакта в вакуумной камере составляет 11 ± 1 мм.

Для токов отключения до 10 кА электрическая дуга равномерно распределена по поверхности контактов (случай диффузной вакуумной дуги). При более высоких токах электрическая дуга в вакуумной камере сосредоточена в одной точке. С целью исключения термических перегрузок контактов при токах короткого замыкания до 40 кА в выключателе применена камера с аксиальным магнитным полем (АМФ система). Принцип этой системы состоит в наличии одного витка в структуре контакта выключателя, который создает аксиальное магнитное поле, удерживающее дугу равномерно распределенной по

поверхности контакта при любой величине отключаемого тока, т.е. создает диффузионную дугу.

Выключатели реализуются в двух исполнениях:

- для эксплуатации в стационарном исполнении;
- для эксплуатации в выкатном исполнении с контактами типа «тюльпан» на выкатной кассете.

Внешний вид выключателя приведен на рис. 5.1.



Рис. 5.1. Внешний вид выключателя ВВ/РТН-10

На лицевой панели имеются кнопки ручного включения и отключения выключателя, счетчик циклов включения-отключения, индикатор положения выключателя, индикатор взвода пружины и гнездо для присоединения ручки ручного взвода пружины.

Включение и отключение выключателя осуществляется за счет запасенной энергии включающих и отключающих пружин, находящихся в его приводе (рис. 5.2).

Привод выключателя предназначен для операции включения, для удержания во включенном положении и отключения выключателя.

Основными частями привода являются включающий: механизм, запирающий механизм (защелка, собачка), который удерживает выключатель во включенном положении и расцепляющий механизм, освобождающий защелку при отключении. Наибольшая работа в существующих конструкциях выключателей совершается приводом при включении, так как при этой операции преодолевается собственная

масса подвижных контактов, сопротивление отключающих пружин, трение и силы инерции в движущих частях.

При отключении работа привода сводится к освобождению защелки, удерживающей механизм во включенном положении. Само отклонение происходит за счет силы сжатых или растянутых отключающих пружин.

В зависимости от источника энергии, затрачиваемой на включение и отключение, имеются ручные, пружинные, грузовые, электромагнитные, пневматические и пневмогидравлические приводы.

Рассмотрим конструкцию пружинного привода вакуумного выключателя.

Привод выключателя состоит из корпуса, в котором установлен мотор-редуктор для завода включающих пружин, главный вал привода, электромагниты отключения, электромагниты включения, блок коммутирующих контактов для внешних вспомогательных цепей.

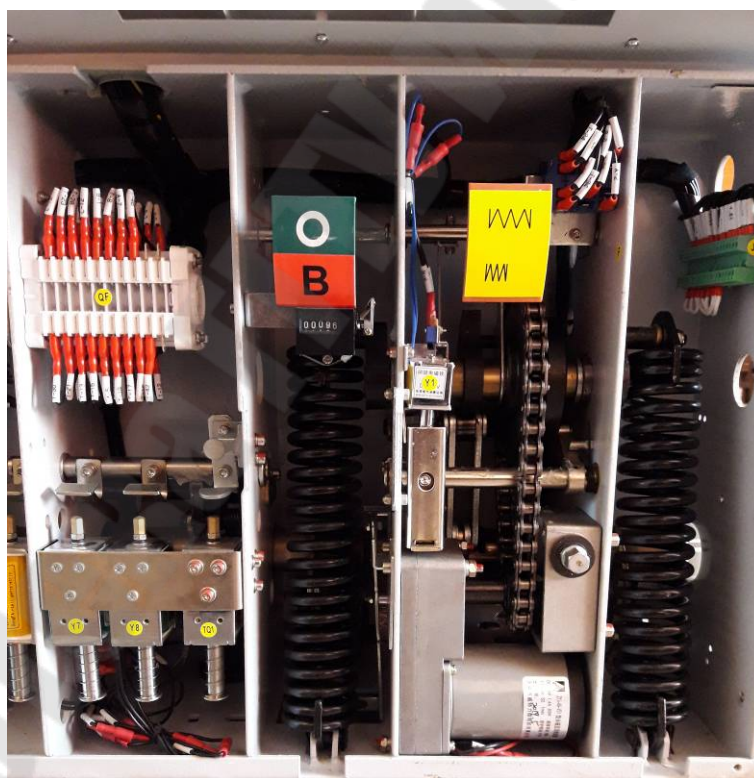


Рис. 5.2. Внешний вид привода выключателя ВВ/РГН-10

Главный вал выключателя установлен на двух подшипниках качения. Вал служит для передачи тягового усилия пружинного привода через изоляционные тяги и пружины поджатия на подвижные контакты ВДК, а также осуществляет кинематическую связь с блоком коммутирующих контактов, узлом отключения.

Вид выключателя в разрезе показан на рис. 5.3.

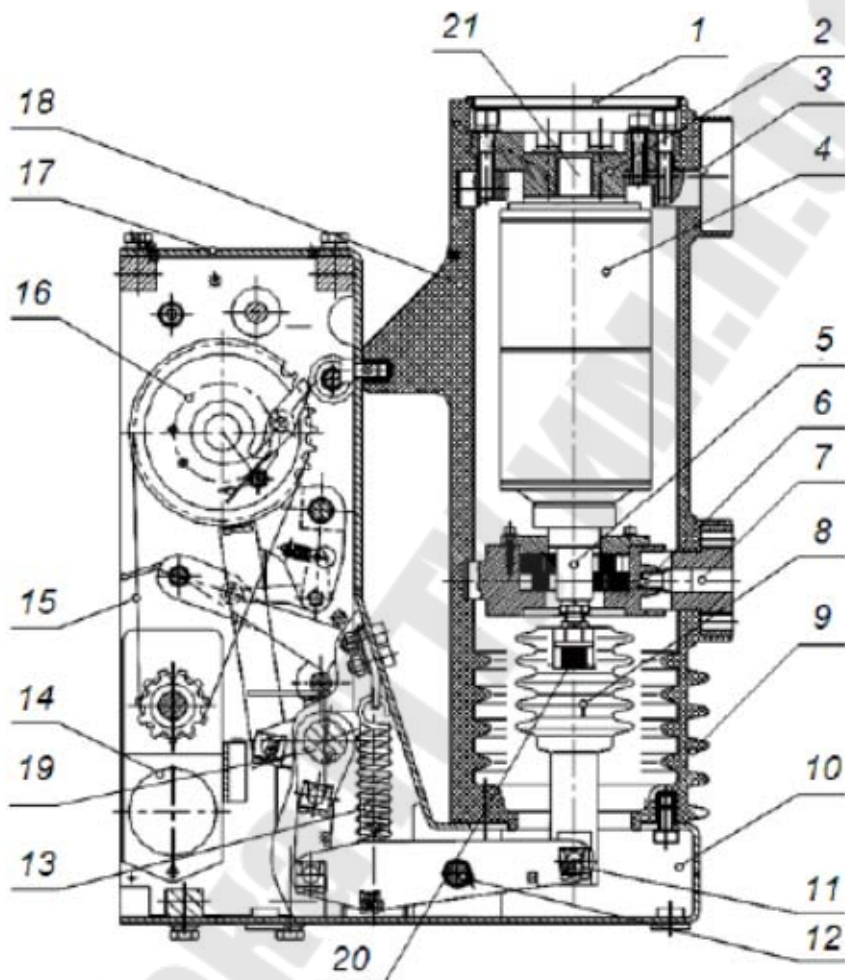


Рис. 5.3. Вид выключателя ВВ/РТН-10 в разрезе
 1 – съемная крышка корпуса полюса; 2 – верхний токосъем полюса;
 3 – верхний вывод выключателя; 4 – вакуумная дугогасительная камера (ВДК); 5 – подвижный контакт ВДК;
 6 – гибкий токопровод; 7 – нижний вывод выключателя;
 8 – изоляционная тяга; 9 – изоляционная рубашка полюса;
 10 – основание выключателя; 11 – втулка, 12 – ось;
 13 – пружина отключения; 14 – мотор-редуктор; 15 – цепь;
 16 – большой маховик; 17 – корпус механизма привода;
 18 – полимерный корпус полюса; 19 – главный вал привода;
 20 – пружина поджатия контакта; 21 – неподвижный контакт ВДК

В процессе работы мотор-редуктор 14 передает вращательное движение зубчатому колесу, установленному на главном валу 19. Вал 19, вращаясь, посредством рычагов поворота взводит пружины включения. При помощи опорного ролика маховика 16 взводится механизм защелки включения, который удерживает пружины включения во включенном состоянии. Привод готов к включению выключателя. После взвода пружин на лицевой панели выключателя изображение короткой пружины сменяется изображением длинной пружины.

Оперативное включение производится подачей напряжения на электромагнит включения YAC , который своим штоком воздействует на планку механизма защелки включения. В результате освобождается стопорный ролик маховика 16, и накопленная энергия пружин включения вращает главный вал 19. Поворачиваясь, главный вал 19 посредством изоляционных тяг 8 перемещает подвижные контакты ВДК 5 до взвода защелок отключения. Выключатель включается. Одновременно при повороте главного вала производится взвод трех отключающих пружин 13, удерживаемых во взведенном состоянии защелками отключения. После включения выключателя на его лицевой панели появляется индикатор красного цвета с буквой «В». Соответственно, на панели устройства управления выключателем должна начать светиться лампа красного цвета.

При подаче оперативного напряжения на электромагнит отключения YAT шток электромагнита воздействует на защелки отключения, освобождаящие главный вал привода. За счет энергии, запасенной пружинами отключения, главный вал привода возвращается в исходное положение. Происходит отключение выключателя. После отключения выключателя на его лицевой панели появляется индикатор зеленого цвета с буквой «О». Соответственно, на панели устройства управления выключателем должна начать светиться лампа зеленого цвета.

Таким образом, последовательность операций с выключателем следующая:

- подача напряжения на катушку включения;
- включение выключателя;
- подача напряжения на цепь мотора-редуктора;
- взвод пружин включения;
- подача напряжения на катушку отключения;
- отключение выключателя.

В цепи включения предусмотрена блокировка от многократных срабатываний. Цепь блокировки – это реле, запрещающее включение выключателя при отсутствии напряжения на этой цепи.

Все высоковольтные выключатели выбирают по следующим условиям:

По напряжению электроустановки:

$$U_{\text{НОМ}} \leq U_{\text{НОМ}}$$

По длительному току утяжеленного режима:

$$I_{\text{утяж}} \leq I_{\text{НОМ В}}$$

По отключающей способности:

$$I_{\text{п0}} \leq I_{\text{откл}}$$

Проверка на динамическую стойкость к токам КЗ:

$$i_y \leq I_{\text{дин}}$$

На термическую стойкость выключатель проверяют по расчетному импульсу квадратичного тока КЗ и найденным в каталоге значениям I_T и t_T :

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$$

3. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из лабораторного стенда (рис. 5.4 и 5.5) и подключенного к нему высоковольтного выключателя ВВ/РТН-10 (рис. 5.1).

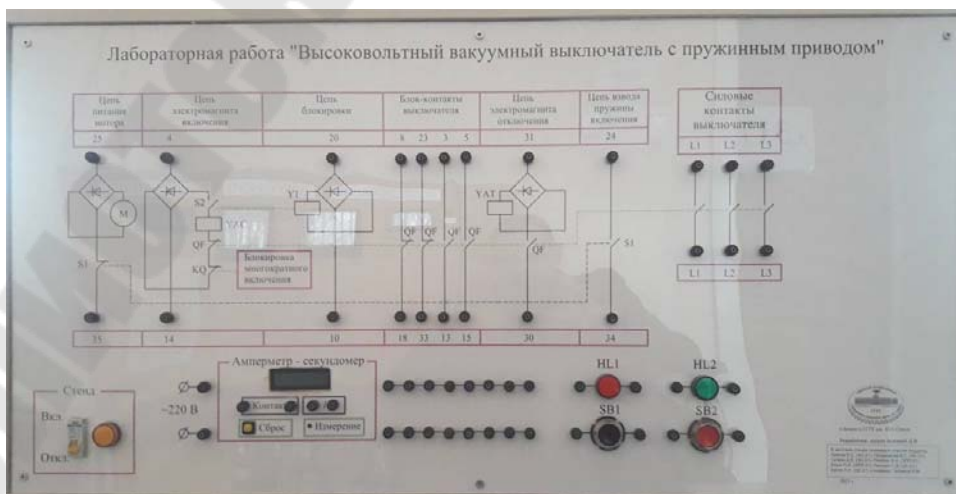


Рис. 5.4. Внешний вид лабораторного стенда

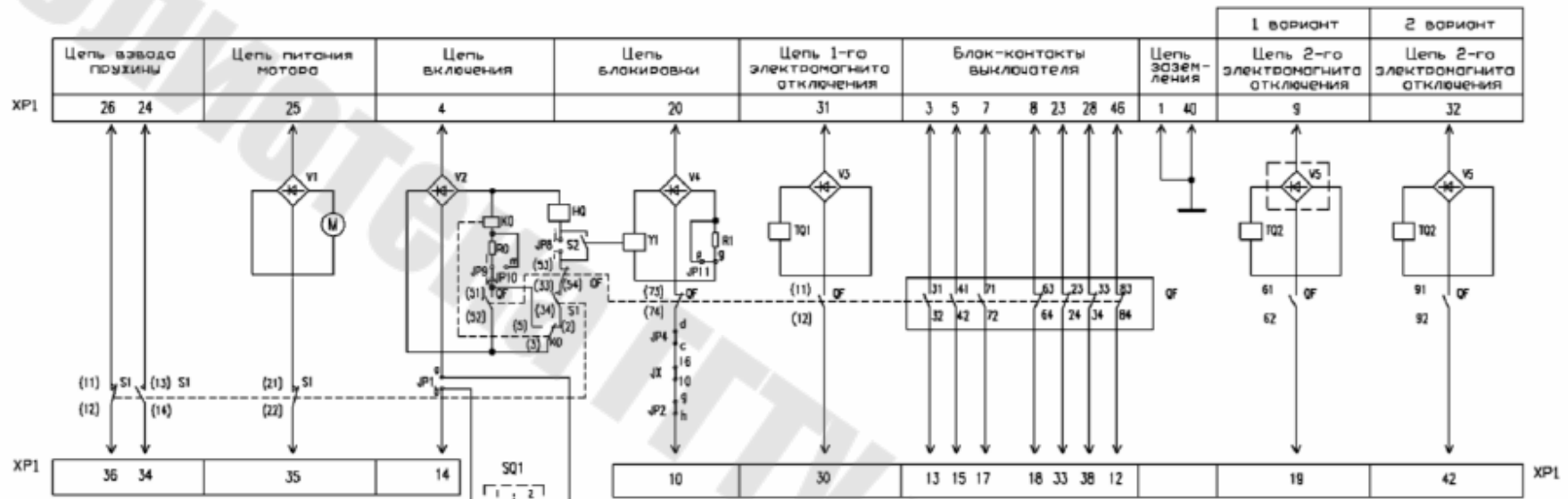


Рис. 5.5. Схема цепей управления выключателем ВВ/РТН-10

На лабораторном стенде изображены основные цепи монтажной схемы управления выключателем, в узлах которой имеются клеммы для сборки схемы. На клеммы также выведены силовые контакты выключателя.

В стенде имеются кнопки SB_1 и SB_2 , а также красная лампа HL_1 и зеленая лампа HL_2 .

В нижней части стенда расположена лицевая панель **амперметра-секундомера**. Это микропроцессорный прибор, способный измерять время замыкания или размыкания контактов, а также действующее значение тока во время переходного процесса. Прибор имеет два входа: «Контакт» – для подключения механического контакта (нормально разомкнутого или нормально замкнутого); « I » – вход измерения тока.

При однократном нажатии на кнопку «Сброс» на дисплее амперметра-секундомера появляется надпись: «Однократное измерение» и прибор готов к измерению значений времени и тока в обычном режиме.

При двукратном нажатии на кнопку «Сброс» на дисплее амперметра-секундомера появляется надпись: «Двукратное измерение» и прибор готов к измерению значений времени и тока при втором срабатывании контролируемых контактов. Это необходимо в опыте с измерением времени взвода пружин включения выключателя.

В процессе измерений должен светиться светодиод «Измерение».

4. Меры по технике безопасности

1. **Внимание!** Перед началом работ нужно убедиться, что корпус высоковольтного выключателя заземлен!

2. **Внимание!** Перед началом работ нужно убедиться, что передняя крышка лицевой панели высоковольтного выключателя закрыта и надежно закреплена!

3. **Внимание!** Перед началом работ нужно убедиться, что разъемы высоковольтного выключателя присоединены к стенду!

4. **Внимание!** При включении и отключении высоковольтный выключатель издает громкие звуки и слегка вибрирует!

5. Значение напряжения на клеммах стенда не превышает 24 В (даже в точках с надписью «220 В»), то есть является безопасным для

жизни. Однако в цепях разъема высоковольтного выключателя присутствует напряжение 220 В.

6. Стенд питается от сети 220 В. Перед включением в сеть нужно убедиться, что вводной автоматический выключатель стенда находится в положении «отключен».

7. **Внимание!** Кнопки SB_1 и SB_2 нужно нажимать до упора и удерживать не менее 0,5 с!

5. Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучите краткие теоретические сведения.
2. Найдите в руководстве по эксплуатации выключателя таблицу с его техническими характеристиками.
3. Изучите описание лабораторной установки и найдите требуемое оборудование.
4. Изучите меры по технике безопасности.

Внимание! Запрещено начинать работу с лабораторной установкой без соответствующего допуска преподавателем!

6. Порядок выполнения работы

Измерение параметров включения и отключения выключателя

1. Спишите и зарисуйте все показания на лицевой панели высоковольтного выключателя. Определите его текущее положение и состояние пружин включения.

2. С помощью омметра проверьте сопротивление любых силовых контактов высоковольтного выключателя. Убедитесь в правильности определения текущего положения выключателя.

8. Соберите схему для исследований, показанную на рис. 5.6. При сборке схемы используйте ряды закороченных между собой клемм на стенде.

9. К входу амперметра-секундомера «Контакт» присоедините один из силовых контактов высоковольтного выключателя.

10. Включите питание стенда. При этом на дисплее амперметра-секундомера должна появиться надпись «Технический университет».

11. Если высоковольтный выключатель находится в отключенном положении, то на стенде должна светиться зеленая лампа, если во включенном положении – красная лампа. При отсутствии этих показаний отключите питание стенда и найдите ошибку в схеме.

12. Нажмите кнопку «Сброс» амперметра-секундомера, так, чтобы на дисплее появилась надпись «Однократное измерение».

13. Нажав соответствующую кнопку (SB_1 или SB_2). Переведите высоковольтный выключатель в противоположное состояние. **Внимание!** Кнопки SB_1 и SB_2 нужно нажимать до упора и удерживать не менее 0,5 с!

14. Запишите все наблюдаемые эффекты, а также изменения на стенде и лицевой панели высоковольтного выключателя.

15. Запишите показания с дисплея амперметра-секундомера.

16. С помощью омметра проверьте сопротивление **незадействованных в схеме** силовых контактов выключателя. **Внимание!** Запрещено подключать омметр к цепям, задействованным в схеме! Это может привести к выходу омметра из строя! Убедитесь в правильности определения текущего положения высоковольтного выключателя.

17. Повторите пункты 7-11.

18. Сравните полученные значения времени включения/отключения, а также тока включения/отключения высоковольтного выключателя с соответствующими его паспортными данными.

19. Отключите питание стенда. Схему не разбирайте.

Измерение параметров цепи взвода пружин включения

20. Переключите вход амперметра-секундомера «Контакт» на контакт S_1 цепи взвода пружин включения (клеммы 24, 34).

21. Включите питание стенда.

22. Переведите высоковольтный выключатель в отключенное положение, если перед этим он был включен.

23. Дважды нажмите кнопку «Сброс» амперметра-секундомера, так, чтобы на дисплее появилась надпись «Двукратное измерение».

24. Включите высоковольтный выключатель и дождитесь окончания измерений.

25. Запишите значение времени взвода пружин включения, а также значение тока, потребляемого мотором.

26. Сравните полученные данные с соответствующими паспортными данными выключателя.

27. Отключите питание стенда. Разберите схему.

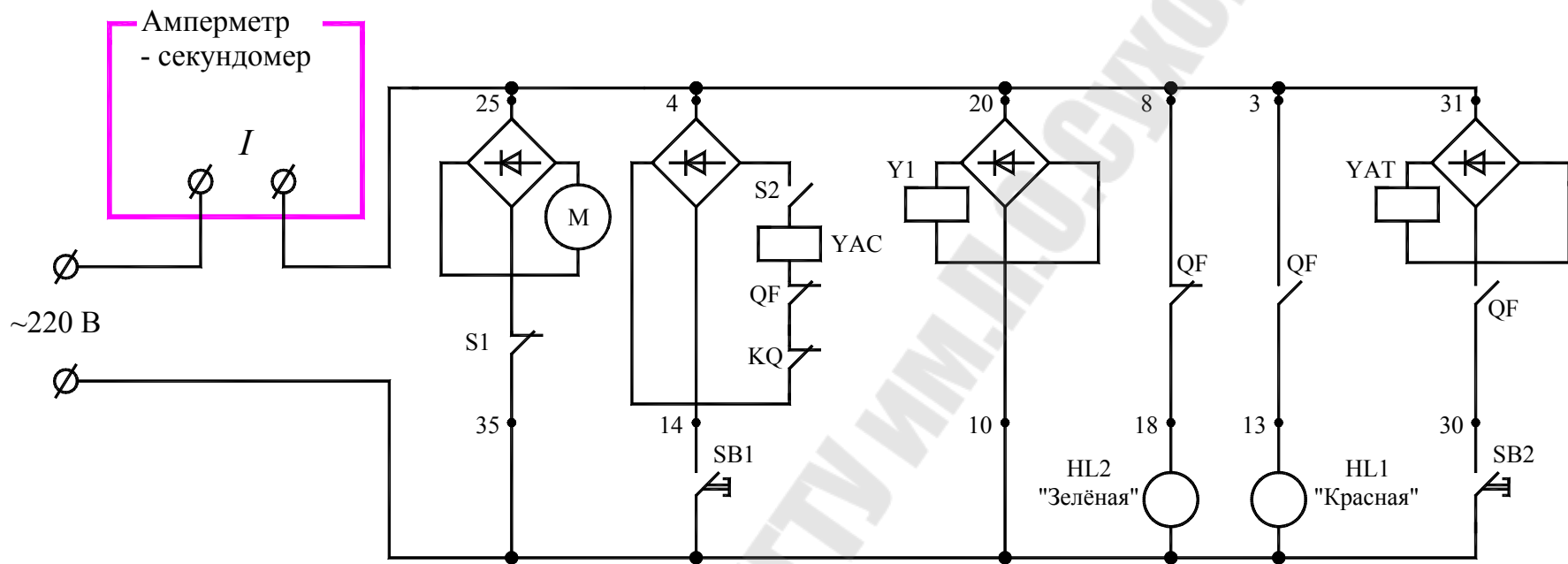


Рис. 5.6. Схема управления выключателем

7. Содержание работы

1. Цель работы.
2. Технические данные выключателя ВВ/РТН-10 изученного в лабораторной аудитории.
3. Схема управления выключателем.
4. Определить собственное время включения и отключения выключателя.
5. Зафиксировать результаты измерения.
6. Опыт выполнить три раза и определить среднее значение собственного времени включения и отключения выключателя.
7. По выданному заданию преподавателем произвести выбор выключателей по справочной литературе.
8. Результаты измерений и выводы.

8. Контрольные вопросы

1. Назначение выключателей и из каких основных частей состоит выключатель ВВ/РТН-10?
2. Требования, предъявляемые к высоковольтным выключателям?
3. Назначение привода выключателя?
4. Опишите конструкцию привода выключателя ВВ/РТН-10.
5. Соотношение между номинальным временем включения и отключения выключателя ВВ/РТН-10?
6. Опишите принцип работы схемы управления выключателем ВВ/РТН-10 с пружинным приводом.
7. Конструкция вакуумной дугогасительной камеры.
8. По каким критериям проверяют выбранный высоковольтный выключатель?
9. Как осуществляется проверка высоковольтного выключателя на динамической устойчивости?
10. Дайте определение термической стойкости аппарата?
11. По каким условиям выбирают выключатель.
12. Отличие вакуумного выключателя от выключателя нагрузки (автогазового) 10 кВ.

9. Литература

1. Электрические подстанции. Учебник Почаевец Виктор Степанович. ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» Москва, печ. л. 30,75.

2. Проектирование подстанций распределительного электросетевого комплекса: учеб. пособие / С.Е. Кокин, С.А. Дмитриев - Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2018 - 192 с.

3. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций. - М.: Издательский центр Академия, 2005. - 448 с.

Лабораторная работа № 6

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

6.1. Цель работы

Ознакомление с различными конструкциями измерительных трансформаторов тока и напряжения, со схемами их соединения и применением.

6.2 Теоретические сведения

Измерительные трансформаторы применяют в установках переменного тока для изоляции цепей измерительных приборов и реле от сети высокого напряжения. Непосредственное включение измерительных приборов в цепь высокого напряжения сделало бы опасным прикосновение к ним. Конструкция приборов в этом случае была бы сильно усложнена, так как изоляция токоведущих частей должна была бы быть рассчитана на высокое напряжение, а их сечение - на большие токи.

Измерительные трансформаторы делят на:

- трансформаторы тока
- трансформаторы напряжения.

Измерительные трансформаторы тока

Трансформаторы тока (ТА) предназначены для понижения первичного тока (сотни и тысячи ампер) до стандартной величины 5 А или 1 А и для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения. В некоторых случаях ТТ служат для питания электромагнитов отключения приводов выключателей.

Все трансформаторы тока имеют сердечник и две обмотки: первичную и вторичную. Первичная обмотка включается последовательно в цепь измеряемого тока, ко вторичной обмотке присоединяются измерительные приборы, счетчики, устройства релейной защиты.

Трансформатор тока характеризуется номинальным коэффициентом трансформации, который равен отношению номинальных токов в первичной и вторичной обмотках:

$$k = \frac{w_1}{w_2} = \frac{I_1}{I_2}, \quad (1)$$

где W_1, W_2 - число витков первичной и вторичной обмоток; I_1, I_2 - номинальный первичный и вторичный ток.

Действительный коэффициент трансформации отличается от номинального вследствие потерь в трансформаторе, что вызывает погрешность в измерении тока. Кроме токовой погрешности, имеется угловая, которая определяется как угол сдвига вектора вторичного тока относительно вектора первичного тока. Определение погрешностей, способы их уменьшения изложены в [7].

По величине погрешностей различают классы точности трансформаторов тока (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Класс точности	Область применения
0,2	Точные лабораторные измерения
0,5	Приборы учета электроэнергии
1,0	Все типы защит и щитовые приборы
3,0 и 10,0	Токовые защиты и амперметры
Д	Специальные для дифференциальных защит
З	Для земляной защиты
Р	Для прочих релейных защит

Трансформаторы тока работают в своем классе точности только при номинальной нагрузке, при увеличении нагрузки погрешности также увеличиваются.

Токовые цепи измерительных приборов и реле имеют малое сопротивление, поэтому трансформатор тока нормально работает практически в режиме короткого замыкания. Если разомкнуть вторичную обмотку, то резко увеличивается магнитный поток в сердечнике, так как в нормальном режиме вторичный ток создает размагничивающий поток, а при его исчезновении поток в сердечнике определяется первичным током. В режиме холостого хода сердечник может нагреться до недопустимой температуры и во вторичной обмотке появится высокое напряжение, достигающее в некоторых случаях нескольких киловольт.

Ввиду указанных явлений размыкать вторичную обмотку не разрешается. При необходимости замены измерительных приборов или реле предварительно ставится закоротка. Безопасность работы во вторичных цепях также достигается заземлением одного из вторичных выводов.

- Конструктивно трансформаторы тока различаются:
- по роду установки - на внутренние и наружные;
 - по количеству ступеней изоляции – с одной ступенью и двумя (каскадные);
 - по количеству витков первичной обмотки – на одновитковые и многovitковые (рис. 6.1);
 - по типу изоляции (фарфор, эпоксидная смола (литые), трансформаторное масло, элегаз);
 - по способу установки – опорные, проходные, встроенные;
 - по количеству вторичных обмоток (от одной до пяти).
- Все трансформаторы тока имеют однофазное исполнение.

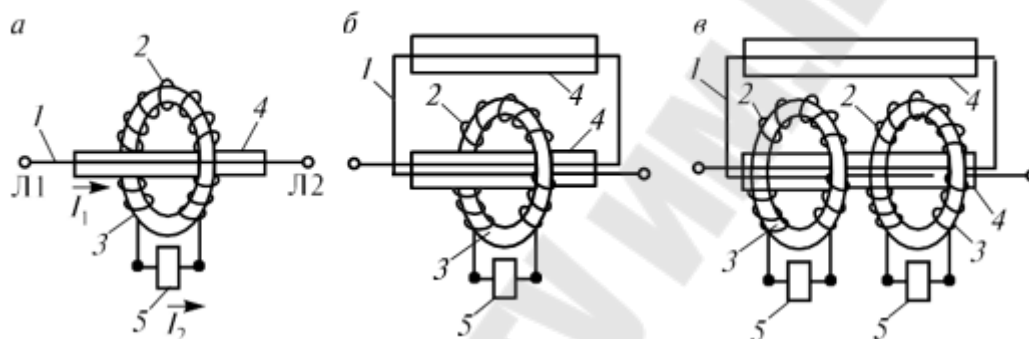


Рис. 6.1. Принципиальные схемы устройства ТТ
 а - одновиткового; б - многovitкового с одним сердечником;
 в – многovitкового с двумя сердечниками;
 1 - первичная обмотка; 2 – изоляция; 3 - сердечник;
 4 - вторичная обмотка; 5- подключаются токовые обмотки измерительных приборов и реле.

Каждый ТТ обозначен буквенной маркой, первичным напряжением, первичным и вторичным током и классом точности. Например, ТПЛ-10- 400/5 А, 0,5/Р (рис. 6.2).

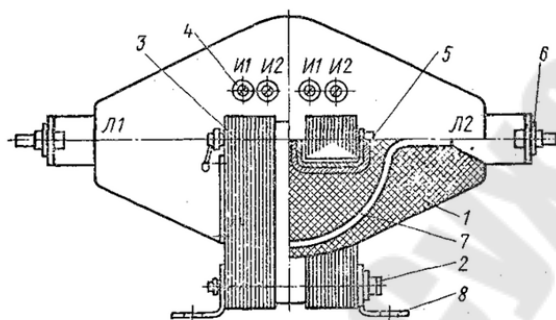


Рис. 6.2. Трансформатор тока типа ТПЛ-10;

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.

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

Трансформаторы тока внутренней установки изготавливаются на напряжение 6-35 кВ: многovitковые - на токи до 1600 А, и одновитковые на токи до 18000 А (например, ТШЛ- 20), с изоляцией из фарфора (Ф) или эпоксидной смолы (Л).

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

Существует три основных конструкции одновитковых трансформаторов тока: шинные, стержневые и встроенные. Все они имеют кольцевой сердечник, на который намотана вторичная обмотка. Первичная обмотка - шина (ТШ, ТШЛ, ТПШЛ) (рис. 6.3), труба, стержень (ТПОЛ, ТПОФ), стержень ввода выключателя или трансформатора (ТВ, ТВТ) - проходит через окно сердечника.



а)



б)

Рис. 6.3 - Трансформатор тока: а – типа ТШЛ-10; б – типа ТПОЛ-10

К многовитковым трансформаторам тока 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 трансформаторы тока нулевой последовательности (рис. 6.4): кабельного типа (ТЗ, ТЗР, ТЗРЛ, ТЗЛ, ТНП) и шинного типа (ТНПШ). Первичной обмоткой названных ТТ являются все три фазы, одновременно пропущенные через окно сердечника. Трансформаторы тока нулевой последовательности применяются для питания цепей токовой защиты от замыканий на землю в сети с изолированной нейтралью. В трансформаторах тока 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 трансформатора тока, чтобы исключить ложное срабатывание защиты от токов, наведенных в броне кабеля и протекающих через трансформаторы тока нулевой последовательности.

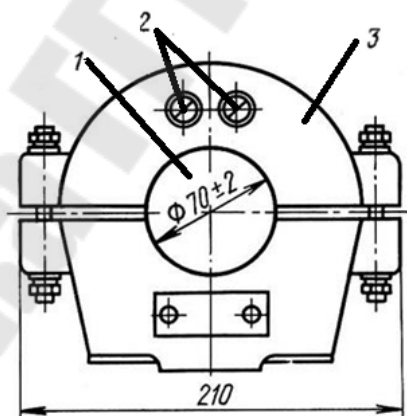


Рис. 6.4. Трансформатор тока нулевой последовательности ТЗРЛ:
1 - окно для установки кабеля, 2 - выводы вторичной обмотки,
3 - литой корпус с сердечником

Для наружной установки выпускаются опорные многовитковые трансформаторы тока (рис. 6.5) 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 масло-расширитель. 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.

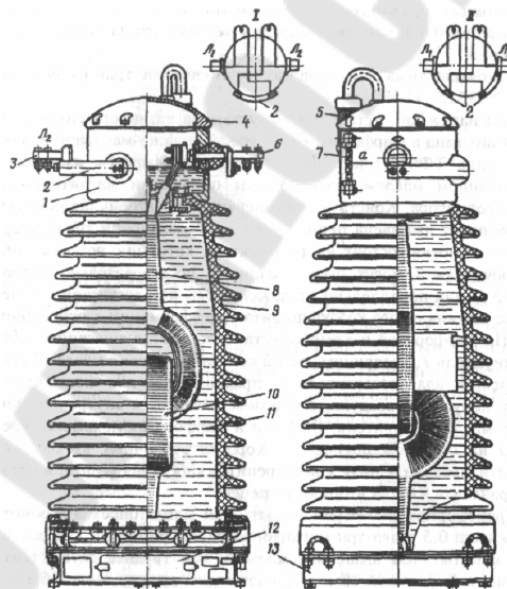
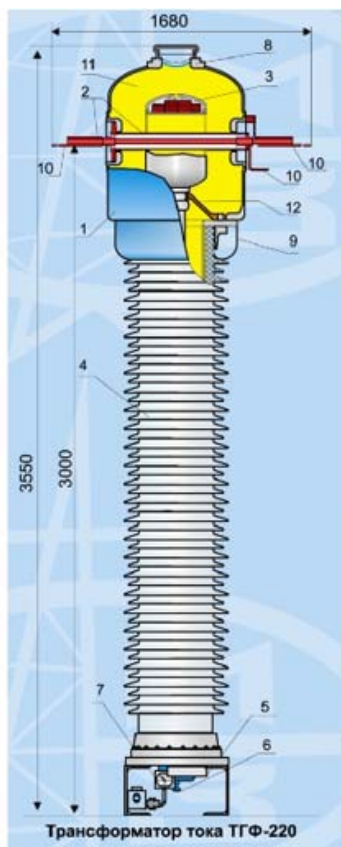


Рис. 6.5. Трансформаторы тока наружной установки:

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

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

На современных подстанциях устанавливаются трансформаторы тока с элегазовой изоляцией типа ТОГ, ТОГФ, ТГФ, ТГ напряжением 110 кВ и выше.



1. Корпус
2. Труба и стержень первичной обмотки
3. Блок вторичных обмоток
4. Фарфоровая покрывка (изолятор)
5. Блок вторичных выводов
6. Вентиль для подкачки элегаза
7. Сигнализатор давления
8. Мембранное предохранительное устройство
9. Внешний экран
10. Выводы первичной обмотки
11. Элегаз
12. Тарельчатый изолятор



Рис. 6.6. Элегазовый трансформатор тока ТГФ-220

Измерительные трансформаторы напряжения

Трансформатор напряжения (ТН) предназначен для понижения высокого напряжения до стандартной величины 100 В, $100/\sqrt{3}$ В, 100/3 В и для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения. Трансформатор напряжения по схеме включения напоминает силовой трансформатор, его первичная обмотка включена на напряжение сети U_1 , а ко вторичной обмотке с напряжением U_2 присоединяются параллельно катушки измерительных приборов и реле. Для безопасности обслуживания один из выводов вторичной обмотки заземляется.

Трансформатор напряжения, в отличие от трансформатора тока, работает с небольшой нагрузкой в режиме, близком к холостому ходу.

Рассеяние магнитного потока и потери в сердечнике приводят к погрешности измерения напряжения. Так же как в трансформаторах тока, в трансформаторах напряжения имеется угловая погрешность.

Вторичная нагрузка измерительных приборов и реле не должна превышать номинальную мощность для заданного класса точности трансформатора напряжения, так как это приведет к увеличению погрешностей.

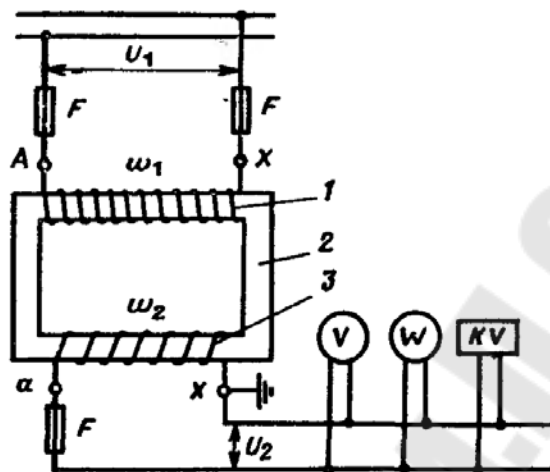


Рис. 6.7. Схема включения трансформатора напряжения.
1 – первичная обмотка; 2 – магнитопровод; 3 – вторичная обмотка

Трансформатор напряжения имеет одну, две или три вторичные обмотки - для измерения напряжения и для контроля изоляции (рис.6.8). Обмотка для измерения линейных и фазных напряжений соединена в звезду с выведенной нулевой точкой. Обмотка, соединенная в разомкнутый треугольник, предназначена для присоединения реле напряжения. В нормальном режиме на выводах этой обмотки напряжение равно нулю, при замыкании на землю в первичной сети симметрия напряжений нарушается и на обмотке появляется напряжение достаточное для срабатывания реле.

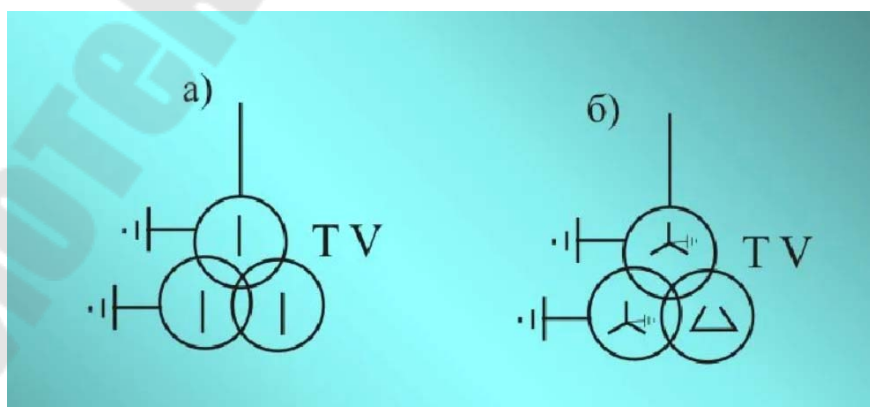


Рис. 6.8. Условные обозначения однофазных 3- обмоточных (а) и трехфазных 3- обмоточных (б) TV

Конструктивно трансформаторы напряжения различаются:

- по роду установки (внутренние, наружные);
- по количеству фаз в одном корпусе (однофазные или трехфазные);
- по количеству ступеней изоляции (одна или больше, т.е. каскадные);
- по типу изоляции (сухие, литые, элегазовые, масляные);
- по количеству вторичных обмоток (одна или две).

Различают трехфазные и однофазные трансформаторы напряжения. В установках напряжением до 20 кВ применяются трехфазные и однофазные трансформаторы, 35 кВ и выше – только однофазные.

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

Трансформаторы с масляной изоляцией НОМ, НАМИТ, НТМИ, ЗНОМ, НКФ (рис. 6.9 и рис. 6.11) применяются на напряжение 6-1150 кВ. В этих трансформаторах обмотки и магнитопровод помещены в металлический бак (до 35кВ) или фарфоровый корпус (110 кВ и выше) и залиты трансформаторным маслом, которое служит для изоляции и охлаждения.

Следует отличать однофазные двухобмоточные трансформаторы с литой изоляцией (НОЛ, НОЛП) от однофазных заземленных трехобмоточных трансформаторов (ЗНОЛ, ЗНОЛП) (рис. 6.10).

В настоящее время в установках от 3 до 35 кВ включительно применяются однофазные трансформаторы напряжения с литой изоляцией – НОЛ, ЗНОЛ, напряжением 110 кВ и выше - трансформаторы напряжения с элегазовой изоляцией – ЗНОГ (рис. 6.12), НОГ, ЗНГА, в этих трансформаторах металлический корпус, где размещен бронированный магнитопровод с обмотками, заполнен элегазом и герметически закрыт.

В установках 330 – 500 кВ каскадные трансформаторы напряжения имеют класс точности 1 и 3, так как чем больше каскадов, тем больше индуктивные и активные сопротивления обмоток. Поэтому в установках 330 кВ и выше применяют трансформаторные устройства с емкостным отбором мощности (НДЕ).

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.

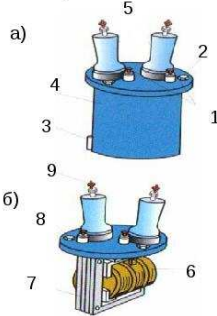


Однофазные трансформаторы напряжения с литой изоляцией (НОЛ, ЗНОЛ, ЗНОЛП)



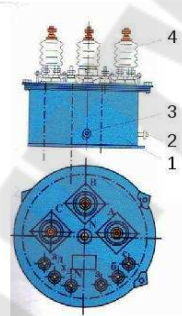
Рис. 6.10. Трансформаторы напряжения литые

Однофазный трансформатор напряжения НОМ-10



а-общий вид, б-выемная часть
1,5-проходные изоляторы
2-болт для заземления
3-сливная пробка, 4-бак
6-обмотка, 7-сердечникю 8-винтовая пробка,9-контакт высоковольтного ввода

Трехфазный трансформатор напряжения НТМИ-10



Общий вид
1-бак
2-болт для заземления
3-сливная пробка
4-высоковольтный ввод

Рис. 6.9. Трансформаторы напряжения однофазный НОМ-10 и трехфазный типа НТМИ -10



Рис. 6.11. Трансформаторы напряжения НКФ-110У1



Рис. 6.12. Трансформатор напряжения типа ЗНОГ-110

Основными параметрами трансформаторов напряжения являются следующие:

Номинальный коэффициент трансформации $k_{\text{тр}}$ – это отношение номинального первичного напряжения $U_{1\text{ном}}$ ко вторичному $U_{2\text{ном}}$:

$$k_{\text{тр}} = \frac{U_{1\text{ном}}}{U_{2\text{ном}}}. \quad (2)$$

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

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_2} \quad (3)$$

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

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

В зависимости от назначения могут применяться трансформаторы напряжения с различными схемами соединения обмоток.

Для измерения трех междуфазных напряжений можно использовать два однофазных двухобмоточных трансформатора НОМ, НОС, НОЛ, соединенных по схеме открытого треугольника (рис. 6.13, а), а также трехфазный двухобмоточный трансформатор НТМК, обмотки которого соединены в «звезду» (рис. 6.13, б).

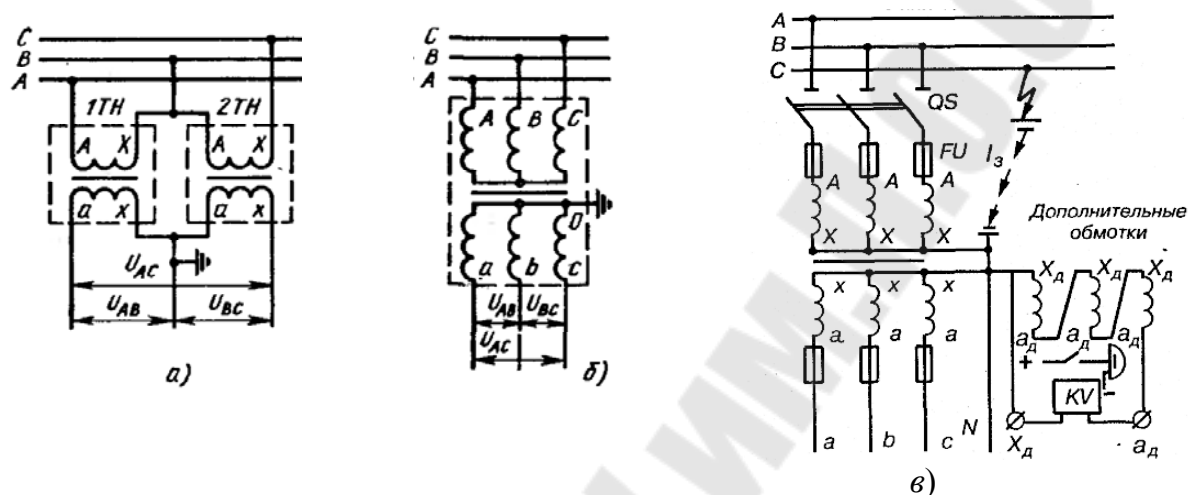


Рис. 6.13. Схемы соединения обмоток трансформаторов напряжения

Для измерения напряжения относительно земли могут применяться три однофазных трансформатора, соединенных по схеме «звезда»/«звезда», или трехфазные трехобмоточные трансформаторы (рис. 6.13, в). Трансформаторы типа ЗНОЛ, ЗОМ, ЗНОЛ, ЗНОГ, НТМИ - трехобмоточные, 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. Обмотка, соединенная в звезду, используется для присоединения измерительных приборов, а к обмотке, соединенной в разомкнутый треугольник, присоединяется реле защиты от замыканий на землю. 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. 6.14, а), 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 с и началом обмотки фазы а на диаграмме равно нулю.

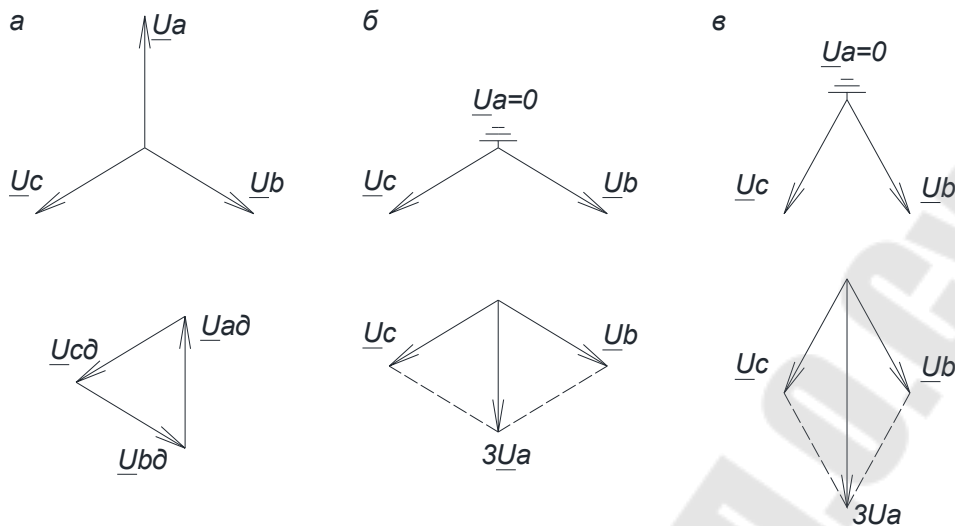


Рис. 6.14. Векторные диаграммы напряжения первичной и вторичной дополнительной обмоток.

a - нормальный режим; *б* - замыкание на землю в сети с заземленной нейтралью; *в* - замыкание на землю в сети с изолированной нейтралью

На рис. 6.14, *б* построен вектор $3 \cdot U_0$ при замыкании на землю фазы А в сети с эффективно заземленной нейтралью вблизи места установки трансформатора напряжения. В месте однофазного короткого замыкания (КЗ) 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. 6.14, *в* приведены векторные диаграммы при замыкании на землю фазы А в сети с изолированной нейтралью. При этом КЗ не возникает, и векторы линейных напряжений сети остаются симметричными. Напряжение на первичной обмотке фазы А трансформатора будет равно нулю, так как она закорочена. Вектор $3 \cdot U_0$ построен как сумма векторов напряжений U_{bq} и U_{cq} . 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. 6.14, *в*) увеличились до линейных

($U_{bq} = U_{cq} = \sqrt{3} \cdot U_0$), то 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 $3 \cdot U_0 = U_0$, а в сети с изолированной нейтралью $3 \cdot U_0 = 3 \cdot U_0$. Соответственно для дополнительных обмоток трансформаторов напряжения, предназначенных для сети с заземленной нейтралью, установлено $U_0 = 100 \text{ В}$, а для сети с изолированной нейтралью $U_0 = 100/3 \text{ В}$.

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 КЗ на его ошиновке или вводах ВН. Ток КЗ 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 КЗ цепи первичной обмотки маловероятно или последствия такого КЗ 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.

6.3 Содержание работы

1. Ознакомление с измерительными трансформаторами тока и напряжения, их конструкцией.
2. Составление схемы для проверки полярности выводов вторичных обмоток трансформатора тока или трансформатора напряжения.

3. Сборка схемы и определение коэффициента трансформации трансформатора напряжения.

4. Составление схемы контроля изоляции в сети с изолированной нейтралью.

5. Сборка схемы контроля изоляции в сети с изолированной нейтралью и проверка ее работы в нормальном режиме, а также при замыкании на землю в контролируемой сети.

6.4 Содержание отчета

1. Основные технические данные изученных измерительных трансформаторов тока и напряжения и схемы их подключения к первичной сети.

2. Схемы проверки полярности выводов трансформатора тока или трансформатора напряжения;

3. Схема для определения коэффициента трансформации трансформатора напряжения.

4. Схема контроля изоляции сетей с изолированной нейтралью. Результаты испытаний этой схемы.

5. Построение векторных диаграмм.

6.5 Описание лабораторного стенда

Лабораторная установка включает в себя три стенда:

1) первый стенд - установка для исследования характеристик трансформатора тока. Лабораторный стенд содержит испытательную установку с измерительными приборами. На лицевой панели стенда находятся трансформатора тока ТА предназначенный для исследования характеристик и схем соединения.

2) на втором стенде приведены схемы для проверки полярности обмоток трансформаторов НОМ-6 / НТМИ-10, схема для определения коэффициента трансформации трансформатора НОМ-6/НТМИ-10.

3) на третьем стенде показана принципиальная электрическая схема одной секции распределительного устройства 10 кВ главной понизительной подстанции (ГПП) 220/10 кВ. Для контроля изоляции этой сети используется трансформатор напряжения типа ЗНОЛ-10.

6.6 Порядок выполнения работы

При выполнении лабораторной работы соблюдать инструкцию по технике безопасности при работе в лаборатории «Производство электроэнергии».

1) Схема проверки полярности выводов трансформатора тока.

Схема испытательной установки приведена на рис. 6.15.

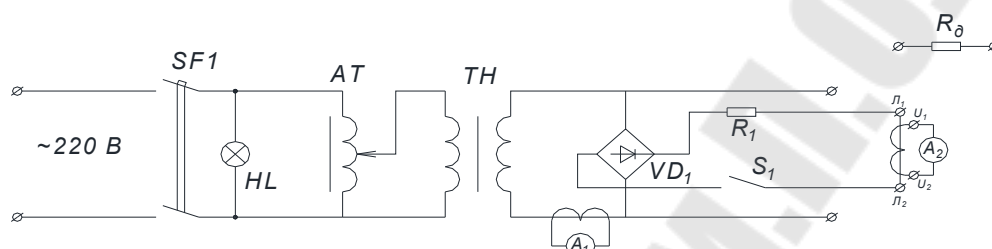


Рис. 6.15. Схема испытательной установки

Для определения полярности обмоток, первичная обмотка испытуемого ТА подключается к выпрямительному устройству VD_1 . При этом предполагаемый зажим ТА соединяется с зажимом + выпрямителя, а вывод вторичной обмотки соединить с зажимом + гальванометра. Автотрансформатором установить напряжение 60-100 В. Если положительные зажимы источника и гальванометра присоединены к зажимам обмоток трансформатора, имеющих одинаковые индексы (Л1 и И1, либо Л2 и И2), то при нажатии кнопки S_1 стрелка прибора отклонится вправо, а при отпускании – влево. В противном случае маркировку выводов вторичной или первичной обмоток следует поменять местами.

2) Схемы для проверки полярности обмоток и коэффициента трансформации трансформатора НОМ-6 или НТМИ-10.

Изучить конструкции и схемы соединения трансформаторов напряжения наружной и внутренней установки на образцах, представленных в работе, по методической к рекомендованной литературе. Технические характеристики образцов, представленных в лаборатории, записать в виде таблице 6.1.

Таблица 6.1

Тип	Номинальное напряжение обмотки			Номинальная мощность ВА в классе точности		
	первичной, кВ	основной вторичной, В	дополнительной, В	0,2	0,5	1
Марка трансформатора						

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 (см. рис. 6.16).

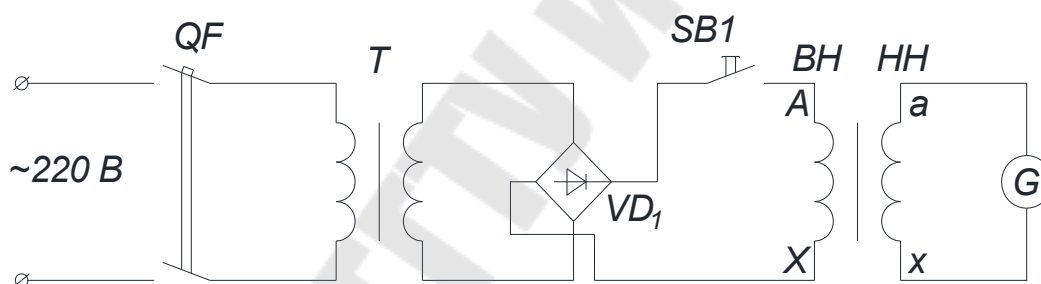


Рис. 6.16. Схема проверки полярности однофазного трансформатора напряжения НОМ-6

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 **SB₁** 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.6.17.

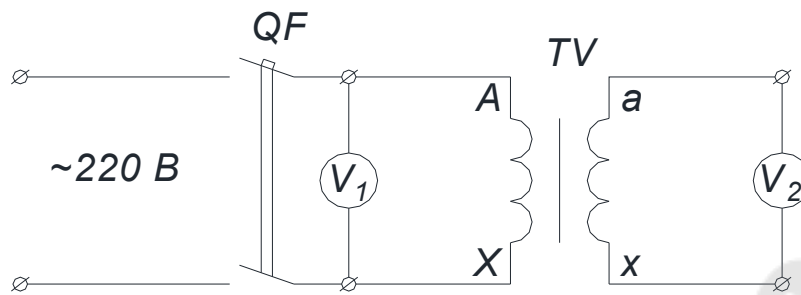


Рис. 6.17. Схема для определения коэффициента трансформации трансформатора напряжения

Результаты расчета оформляются в таблицу:

Номер опыта	Первичное напряжение (устанавливается ЛАТР на стенде), В	Вторичное напряжение, В	Коэффициент трансформации
1			
2			
3			

3) Для ознакомления со схемой контроля изоляции в сети с изолированной нейтралью используется схема, приведенная на рис. 6.18.

При исследовании режима сети и работы трансформатора напряжения анализируются показания приборов в нормальном режиме работы сети, при повреждении изолятора на шинах 10 кВ, замыкании одной фазы на участке сети, повреждение на выводах трансформатора собственных нужд (ТСН) Т2) и при перегорании предохранителя FU_1 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 .

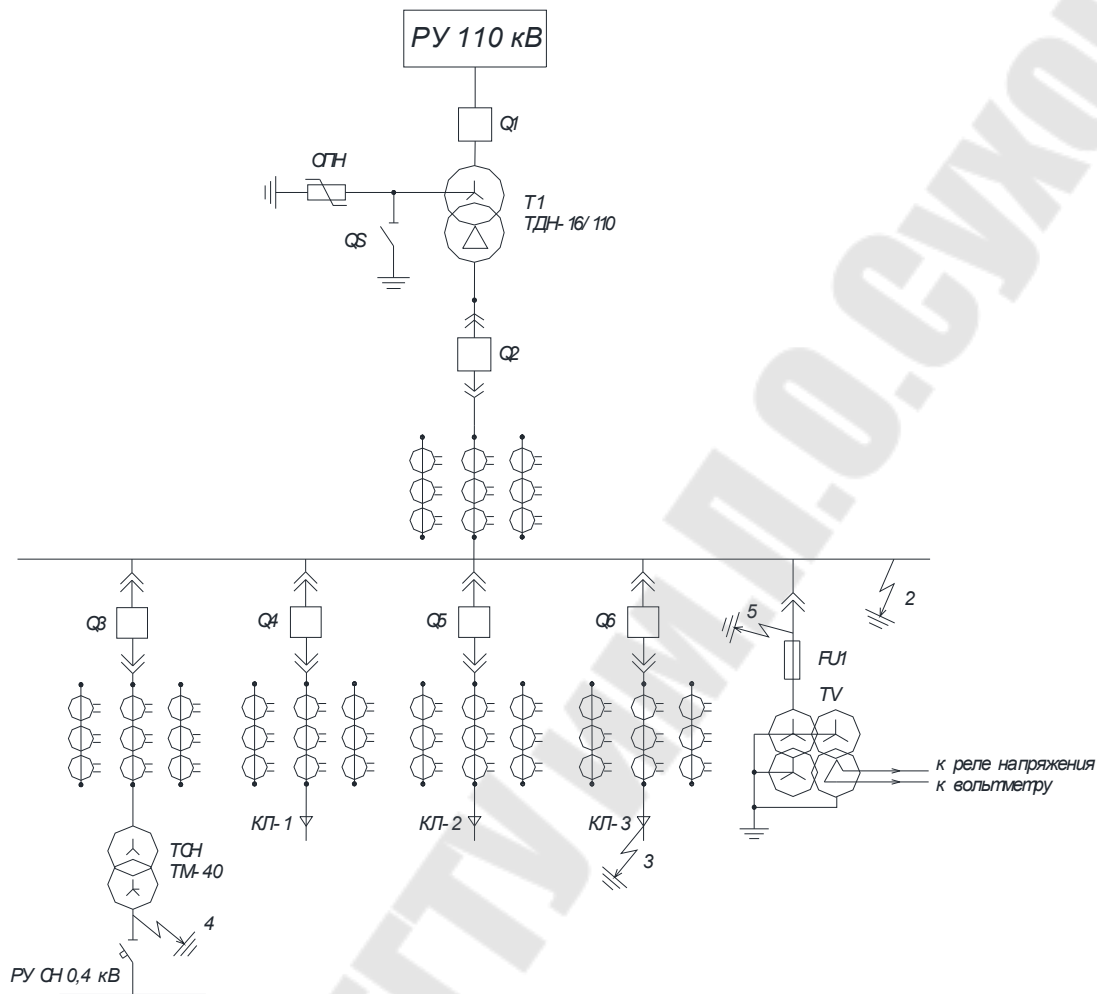


Рис. 6.18. Принципиальная схема для исследования устройства контроля изоляции на понижающей подстанции

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 6.2.

Запрещается: одновременное включение двух и более тумблеров, имитирующие повреждения в сети.

По данным измерений (табл. 6.2) построить векторные диаграммы для исследования режимов.

Таблица 6.2

Режим работы сети	Напряжение						
	Фазное, В			Линейное, В			В разомкнутом треугольнике, В
	U_A	U_B	U_C	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	U_0
1. Нормальный (все тумблеры отпущены вниз)							
2. Поврежден изолятор шин РУ-10кВ ГПП (тумблер SN_2 вверх)							
3. Поврежден кабель фидера 3 (тумблер SN_3 вверх)							
4. Повреждение на выводах ТСН (тумблер SN_4 вверх)							
5. Перегорел ПКТ (FU_1) фазы А (тумблер SN_5 вверх)							

6.7. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема проверки полярности трансформатора тока или трансформатора напряжения.
3. Таблица с техническими характеристиками трансформатора напряжения, представленных в лаборатории.
4. Схемы и результаты нахождения коэффициента трансформации трансформаторов напряжения.
6. Схема контроля изоляции в сети с изолированной нейтралью, результаты исследования режимов ее работы и векторные диаграммы режимов электрической сети (по табл. 6.2).
7. Выводы по работе.

6.8. Контрольные вопросы

1. Назначение трансформатора тока.
2. Коэффициент трансформации трансформатора тока.
3. Класс точности трансформаторов тока. Область применения трансформаторов тока в зависимости от класса точности.

4. Режим работы трансформаторов тока. Объяснить недопустимость работы трансформаторов тока.
5. Как обеспечивается безопасность обслуживания вторичных цепей трансформаторов тока?
6. Конструктивное исполнение одновитковых и многовитковых трансформаторов тока внутренней установки.
7. Конструктивное исполнение встроенных трансформаторов типа ТВ и ТВТ.
8. Конструктивное исполнение трансформаторов тока наружной установки.
9. Назначение трансформаторов напряжения.
10. Основные параметры трансформаторов напряжения.
11. Коэффициент трансформации трансформатора напряжения.
12. Классификация трансформаторов напряжения.
13. Схемы соединения трансформаторов напряжения, область их применения.
14. Как классифицируются электроустановки в зависимости от режима работы нейтрали?
15. Область применения сетей с изолированной, компенсированной и глухозаземленной нейтралью.
16. Достоинства и недостатки сетей с изолированной нейтралью.
17. Почему в сетях с изолированной нейтралью должен применяться контроль изоляции?
18. Чему равно напряжение на выводах разомкнутого треугольника в нормальном режиме и при замыкании одной из фаз на землю?
19. Условное графическое и буквенное обозначение трансформаторов тока и трансформаторов напряжения на электрических схемах.
20. Расшифровать марки измерительных трансформаторов: ТОЛ-10, ТОГ-110, НАМИ-110, НТМИ -6, ЗНОГ-110, ЗНОМ- 20, ЗНОЛ-35.

6.9 Литература

1. Проектирование подстанций распределительного электросетевого комплекса: учеб. пособие / С.Е. Кокин, С.А. Дмитриев - Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2018 - 192 с.
2. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций. - М.: Издательский центр Академия, 2005. - 448 с.

Лабораторная работа № 7

ЯЧЕЙКИ 10 кВ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

1. Цель работы

Изучение конструкции ячеек комплектных распределительных устройств типов КСО, КРУ, КРУН, КРУЭ ознакомление с оборудованием, которым комплектуются эти ячейки, со схемами управления, релейной защиты, автоматики и с блокировками, применяемыми в ячейках распределительных устройств.

2. Теоретические сведения

Распределительным устройством (РУ) называется сооружение, предназначенное для приема и распределения электрической энергии и содержащее электрические аппараты, шины и вспомогательные устройства.

Распределительные устройства бывают *сборными*, если большая часть монтажных работ выполняется на месте установки, и *комплектными*, если они изготавливаются на специализированных заводах и поставляются на место установки в виде блоков, шкафов, панелей и ячеек.

Классификация КРУ:

- По роду установки: для внутренней установки и для наружной установки (КРУН).
- По условиям обслуживания: одностороннего и двухстороннего обслуживания.
- По виду изоляции: с воздушной и элегазовой изоляцией.
- По назначению: для промышленных, городских и сельских распределительных сетей, а также специального назначения (генераторные, экскаваторные, шахтные и др.).
- По способу установки основного оборудования:
 - стационарные (КСО) (рис/ 7.1);
 - с выдвижным элементом (КРУ) рис. 7.1;
 - компактные (с кассетным элементом) рис. 7.5.



Рис. 7.1. Шкафы:
а – КРУ; б – КСО

Комплектные распределительные устройства (КРУ) внутренней ус тановки на напряжение 6-10 кВ монтируются из ячеек различного назначения (вводных, отходящих линий, трансформаторов напряжения и др.), выполненных в виде шкафов с соответствующим оборудованием. КРУ широко распространены при сооружении промышленных и городских подстанций, главных РУ электростанций средней и малой мощности, РУ собственных нужд мощных электростанций. КРУ с элегазовой изоляцией могут изготавливаться на высокие напряжения (в мировой практике есть конструкции на 220,400 и 500 кВ).

Камеры и шкафы КРУ изготавливаются заводами, электромонтажными организациями и фирмами, что позволяет добиться тщательной сборки всех узлов и обеспечения надежной работы электрооборудования. Камеры и шкафы с полностью собранным и готовым к работе оборудованием поступают на место монтажа, где их устанавливают, соединяют сборные шины на стыках камер и шкафов, подводят силовые и контрольные кабели. Применение КРУ позволяет ускорить монтаж распределительного устройства. КРУ безопасно в обслуживании, так как все части, находящиеся под напряжением, закрыты металлическим кожухом.

Камеры и шкафы КРУ изготавливают различных серий с различными схемами первичных и вторичных цепей. Наличие шкафов с различными схемами первичных цепей позволяет комплектовать их согласно принятой схемы электрических соединений установки.

Шкафы КРУ могут быть рассчитаны для размещения выключателей с номинальным током до 4000 А, трансформаторов напряжения, трансформаторов собственных нужд и другой аппаратуры (рис. 7.2).



Рис. 7.2 Модификации КРУ

Возможна установка КРУ на открытой площадке, тогда шкафы ячеек должны иметь защиту от атмосферных осадков и проникновения пыли. Заводами изготавливаются комплекты распределительные устройства наружной установки (КРУН) для напряжений 6-35 кВ.

Конструкции КРУ различаются в зависимости от типа и конкретной серии, но при этом обладают общими классифицирующими признаками.

Как правило, шкаф КРУ разделен на 4 основных отсека:

- 1 - релейный;
- 2 - отсек выключателя (выкатной тележки);
- 3 - сборных шин;
- 4 - линейный (кабельный) отсек.

В большинстве конструкций КРУ сборные шины размещаются в верхней части шкафа, за релейным отсеком. В релейном отсеке располагается низковольтное оборудование: устройства РЗА, переключатели, рубильники. На двери релейного отсека, как правило, располагаются светосигнальная арматура, измерительные приборы, элементы управления ячейкой. В отсеке выключателя располагается силовой выключатель или другое высоковольтное оборудование (втычные

контакты, предохранители, трансформатор напряжения). Чаще всего в КРУ это оборудование размещается на выкатном или выдвигном элементе. В линейном отсеке размещается кабельная разделка, измерительные трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, ОПН.

Рассмотрим общий вид КРУ классической конфигурации представленного на рис. 7.3.

Шкаф состоит из жесткого металлического корпуса, внутри которого размещена вся аппаратура. Для безопасного обслуживания и локализации аварий корпус разделен на отсеки металлическими перегородками и автоматически закрывающимися металлическими шторками. Выключатель с приводом установлен на выкатной тележке 2. В верхней и нижней частях тележки расположены подвижные разъединяющие контакты, которые при вкатывании тележки в шкаф замыкаются с шинным 16 и линейным 15 неподвижными контактами. При выкатывании тележки с предварительно отключенным выключателем разъёмные контакты отключаются, и выключатель при этом будет отсоединен от сборных шин и кабельных вводов. Когда тележка находится вне корпуса шкафа, обеспечивается удобный доступ к выключателю и его приводу для ремонта.

Размещение выключателя на выкатной тележке позволяет значительно уменьшить размеры шкафа по сравнению со сборными РУ, где камера выключателя должна предусматривать возможность доступа к аппаратам и ремонт их на месте. Выкатная тележка может занимать три положения: рабочее – тележка находится в корпусе шкафа, первичные и вторичные цепи замкнуты; испытательное – тележка в корпусе шкафа, но первичные цепи разомкнуты, а вторичные замкнуты; ремонтное – тележка находится вне корпуса шкафа, первичные и вторичные цепи разомкнуты.

В рабочем и испытательном положениях тележка фиксируется специальным устройством. Для облегчения перемещения тележки в рабочее положение имеется рычажный механизм, управляемый съемной рукояткой. При выкатывании тележки из шкафа автоматически металлическими шторками закрываются отсеки шинного и линейного разъединяющих контактов. Таким образом, исключается случайное прикосновение к токоведущим частям, оставшимся под напряжением.

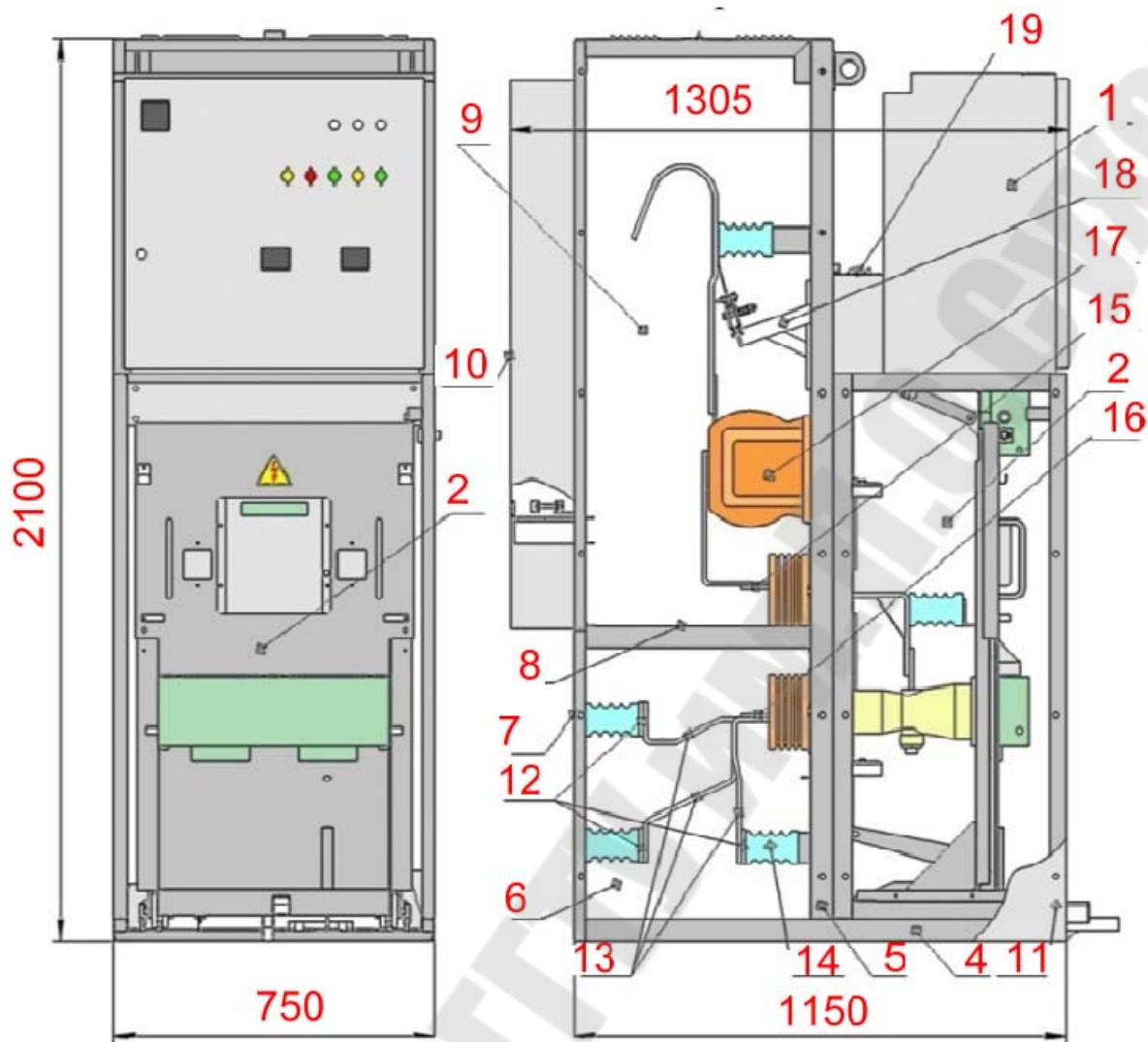


Рис. 7.3. Шкаф распределительного устройства типа КРУ-К104М
 1 – релейный отсек; 2 – отсек выключателя; 3 – выкатная тележка;
 4 – корпус шкафа; 5 – рама; 6 – отсек сборных шин; 7, 10, 11 – листы;
 8 – лист горизонтальный; 9 – линейный отсек; 12 – шины сборные;
 13 – отпайки; 14 – опорный изолятор; 15 – верхние неподвижные контакты;
 16 – нижние заземляющие контакты; 17 – трансформаторы тока;
 18 – заземляющий разъединитель; 19 – клапан

Отсек сборных шин расположен в нижней части шкафа. Над ним находится отсек кабельных присоединений, отделенный от сборных шин металлической или изоляционной перегородкой. В отсеке кабельных присоединений размещаются трансформаторы тока, заземлители и ограничители перенапряжения. Отсек выкатного элемента расположен перед отсеком сборных шин и электрически соединяется с ним и с отсеком кабельных присоединений через втычные контакты в проходных изоляторах. На тележке выкатного элемента могут раз-

мещаться вакуумный или элегазовый выключатель, трансформаторы напряжения с предохранителями. Отсек с аппаратурой РЗА, с приборами управления и сигнализации расположен над отсеком выкатного элемента, вторичные цепи которого соединяются с отсеком РЗА кабелями с разъемами, обеспечивающими размыкание электрических цепей при выкатывании тележки в ремонтное положение. Для предотвращения последствий дугового разряда предусмотрены разгрузочные клапаны (19).

В шкафах данной серии выполнена блокировка, не допускающая выкатывания тележки в рабочее положение и выкатывания из рабочего положения при включенном выключателе, а также не допускающая выкатывания тележки при включенном заземляющем разъединителе или включения его в рабочем положении тележки.

Различные модификации серии КРУ К-104 (с нижним расположением сборных шин) производят заводы: электротехнический завод «ЭКТА» (г. Иваново); Электра-Чебоксары; ЗАО «Электробалт» (г. Санкт-Петербург); ЗАО «Завод высоковольтного оборудования»; «Кемонт» (г. Усть-Каменогорск), ООО «Новосибирский электротехнический завод» и др.

В г. Гомеле производством КРУ занимаются следующие предприятия: «Ратон», «Завод «Энергооборудование», «Белэлектромонтаж».

В современных конструкциях КРУ получили распространение новые подходы к использованию внутреннего пространства, при этом часто выключатель располагается в средней части шкафа КРУ. Шкаф при этом четко делится на три яруса: в нижней части располагаются кабели и трансформаторы нулевой последовательности, в средней – выключатель в «кассетном» исполнении; верхнюю часть традиционно занимает релейный отсек (рис. 7.4).

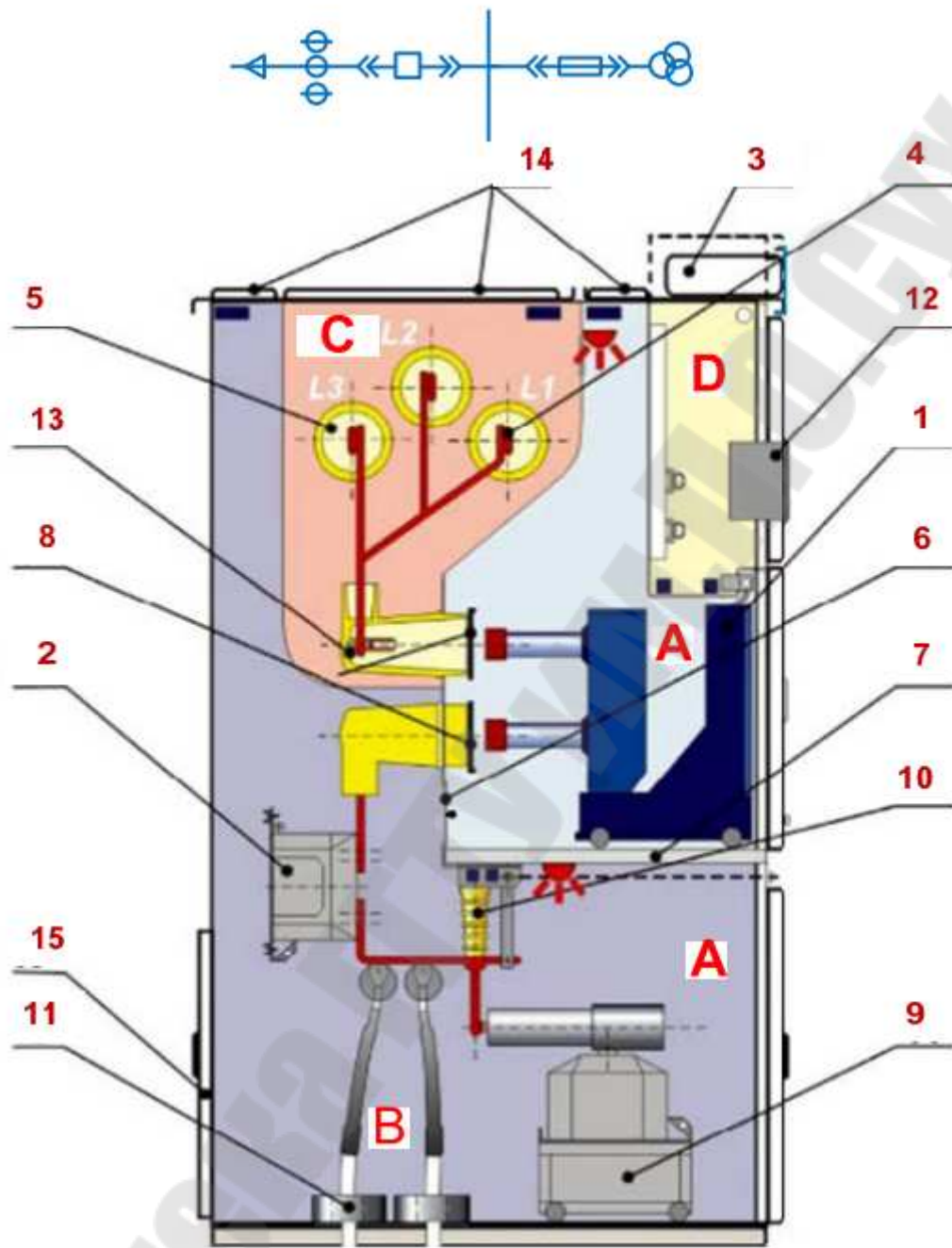


Рис. 7.4. Конструкция КРУ D-12PB «Белэлтика»:

– отсек кассетного выкатного элемента; В– отсек присоединений;
 С– отсек сборных шин; D– отсек вторичных цепей.

- 1 – тележка высоковольтного выключателя; 2 – трансформаторы тока;
- 3 – лоток вторичных цепей; 4 – сборные шины; 5 – проходные изоляторы;
- 6, 7 – перегородки между отсеками; 8–подвижные металлические заслонки;
- 9 – трансформаторы напряжения; 10 – заземлитель и емкостный датчик напряжения;
- 11 – трансформаторы тока нулевой последовательности; 12– аппаратура РЗА;
- 13 – изоляторы; 14 – клапаны безопасности; 15 – тыльные дверцы для двухстороннего обслуживания

«Таврида-Электрик» выпускает компактные КРУ с кассетным элементом, отличающиеся минимальными габаритами. Уменьшение массогабаритных показателей достигнуто поперечным расположением полюсов выключателей и применением аппаратов специальной компактной конструкции. При этом ширина ячейки составляет около 250 мм. Типовые модули компактных КРУ приведены на рис. 7.5.



Рис. 7.5. Комплексные распределительные устройства кассетного типа:
а – компактное КРУ («Таврида-Электрик»);
б – КРУ «Волга» («ПО Элтехника»); в – КРУ РТН («Ратон»)

Камеры сборные одностороннего обслуживания (КСО). Среди шкафов КРУ отдельно выделяют камеры КСО (рис. 7.6). Основное отличие камер КСО от КРУ в открытом их исполнении: сборные шины проложены открыто сверху камеры. В типовых камерах КСО аппаратуру устанавливают только стационарно. Как правило, шкафы КСО имеют более простую конфигурацию, а в типовом наборе шкафов значительное количество модулей с выключателями нагрузки и предохранителями. Камеры КСО применяются в системах городского электроснабжения, в распределительных сетях сельского назначения, для временного электроснабжения строительных площадок, а также для установки на подстанциях с простыми схемами главных соединений и малыми токами КЗ (до 20 кА). Одностороннее обслуживание позволяет ставить КСО непосредственно к стене или задними стенками друг к другу, что позволяет экономить место (важно в условиях высокой плотности городской застройки). Производством КСО на постсоветском пространстве занимается большое количество электротехниче-

ских предприятий. Это Минский электротехнический завод им. В.И.Козлова, ОАО «Ратон», «Белэлектроспецкомплект», БЭМН и др.

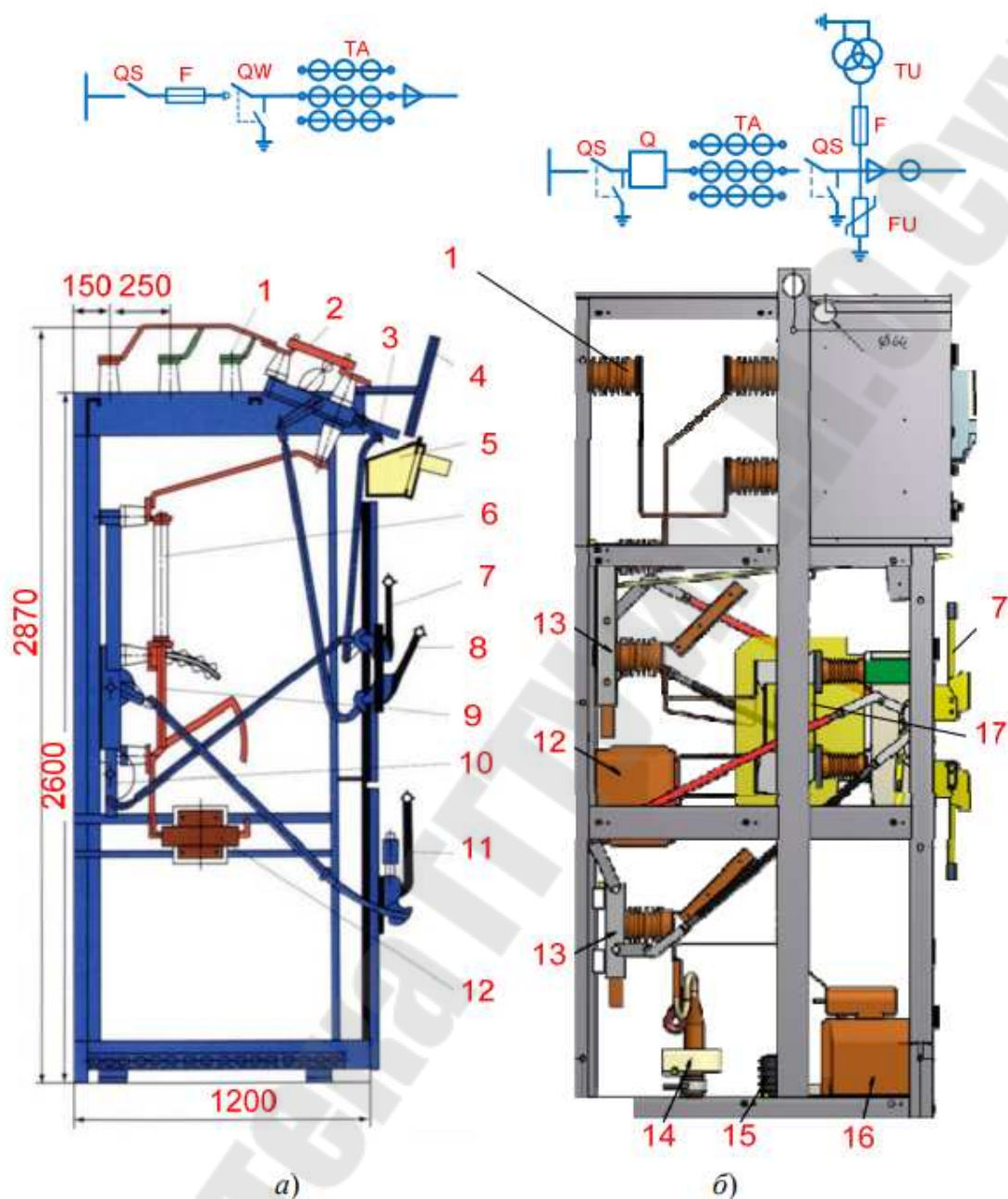


Рис. 7.6. Конструкция шкафов КСО:

- а - шкаф модуля КСО с выключателем нагрузки и предохранителем;
- б - модуль КСО 2-10 с вакуумным выключателем.
- 1 – сборные шины; 2 – разъединитель; 3 и 10 – заземляющий нож;
- 4 – сетчатое ограждение ячейки; 5 – светильник; 6 – предохранитель;
- 7 – рукоятка привода заземляющих ножей; 8 – рукоятка привода разъединителя;
- 9 – выключатель нагрузки; 11 – рукоятка привода выключателя нагрузки;
- 12 – трансформатор тока; 13 – разъединитель; 14 – трансформатор тока нулевой последовательности; 15 – ОПН; 16 – трансформатор напряжения;
- 17 – высоковольтный выключатель

В настоящее время выпускаются 3 серии шкафов (№ серии – 1-я цифра после КСО) в различных модификациях. Одной из разработок является модель КСО-1-БЭМН «Белэлектромонтажладка». Новая разработка позволит увеличить межремонтный период распределительных сетей за счет большей механической и коммутационной износостойкости, а также снизить их повреждаемость. Камеры КСО-1-БЭМН могут устанавливаться в сетях 6 (10) кВ с изолированной, заземленной через дугогасительный реактор или резистор нейтралью. Главной особенностью данной конструкции является применение вакуумных выключателей с автоматическим моторным приводом. Это позволяет, в сочетании с устройствами телемеханики, дистанционно в автоматическом режиме выполнять переключения и локализовать повреждения. Применение вышеуказанных камер позволяет уменьшить перерывы в электроснабжении и снизить связанный с этим ущерб.

Комплектные распределительные устройства наружной установки (КРУН)

Различают две основные разновидности конструкции КРУН: шкафы с закрытым коридором обслуживания и шкафы с открытой площадкой обслуживания. Более высоким техническим совершенством и удобствами в обслуживании обладают шкафы КРУН с закрытым коридором обслуживания. Современным направлением развития КРУН является применение контейнерных модулей, в которых могут устанавливаться шкафы выкатного типа (КРУ) или стационарные (КСО). Оболочка КРУН может выполняться из металлического профиля или «сэндвич»-термопанелей, в которых могут предусматриваться не только устройства обогрева, но и системы кондиционирования. Возможно применение однорядного и двухрядного расположения шкафов.

рис.а



рис.б

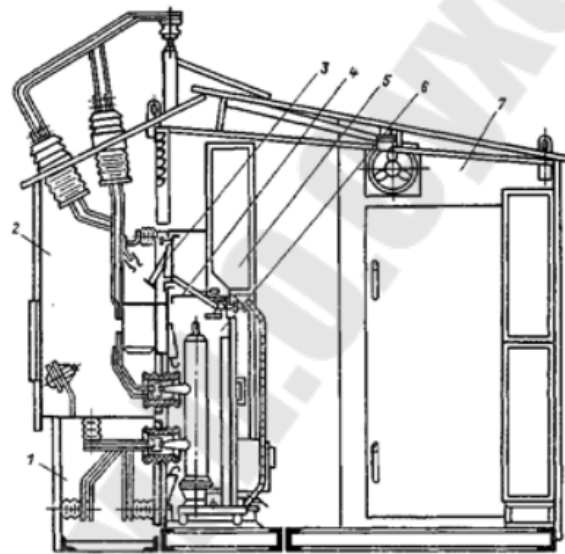


Рис. 7.7. Шкаф КРУН серии К-59

с вакуумным выключателем (а) и К-47 (б)

с выключателем маломасляным выключателем.

1 – отсек сборных шин расположен в нижней части шкафа,
2 – линейный отсек, 3 – трехполюсный короткозамыкатель,
обеспечивающий более надежную работу автоматики ограничения
времени горения открытой дуги КЗ, 4 – разгрузочный клапан, 5 – релейный отсек,
6 – выдвижной элемент с выключателем, 7 – закрытый коридор
для обслуживания. Ширина каждого шкафа 750 мм;
глубина 1300 мм, с коридором управления – 3000 мм; высота 2700 мм.

Производством шкафов КРУН 6-10 кВ традиционной конструкции типа К-59 и модифицированных шкафов занимаются многие предприятия: «СЭЩ» (г. Самара); ЗАО «Промэнерго» (г. Чебоксары); «Кемонт» (г. Усть-Каменогорск); «Ратон» (г. Гомель (КРУН/БЕЛ.) и др. На рис. 7.7 приведены общий вид и конструктивная схема КРУН-К-59 и КРУН - К47.

Виды основных ячеек КРУн/БЕЛ-10 в зависимости от встраиваемой аппаратуры и присоединений (рис. 7.8):

- с вакуумным выключателем, трансформаторами тока и ограничителями перенапряжения;
- с секционным выключателем;
- с трансформаторами напряжения.

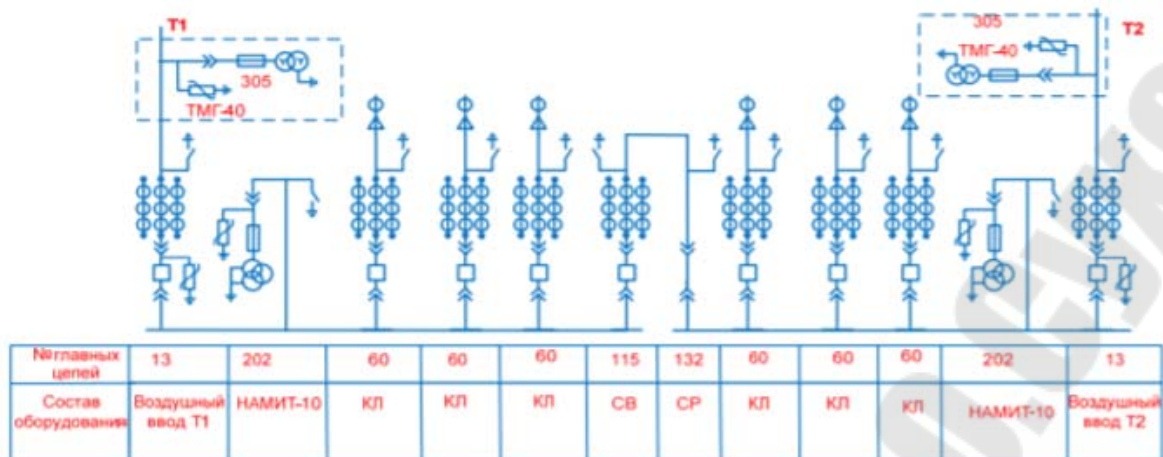


Рис. 7.8. Схема главных цепей РУ-10 кВ со шкафами КРУ/БЕЛ производства «Ратон»

КРУН может иметь различную конструкцию в зависимости от применяемого оборудования, различные схемы главных и вспомогательных соединений, поэтому при выборе их надо ориентироваться на сетку схем и каталожные данные.

В настоящее время выпускается достаточно большое количество КРУН с воздушной изоляцией на напряжение 35 кВ: Балтийское электромеханическое предприятие «БЭМП» производит КРУ-35 «Кедр»; ООО «Энергосоюз» – КУ-35; ЗАО «Электрощит» (г. Самара) – КРУ-35 СЭЩ-65; украинское предприятие «Электробудова» производит шкафы 35 кВ серии D-40 и др. На рис. 7.9 приведен модуль серии D-40 с выключателем.

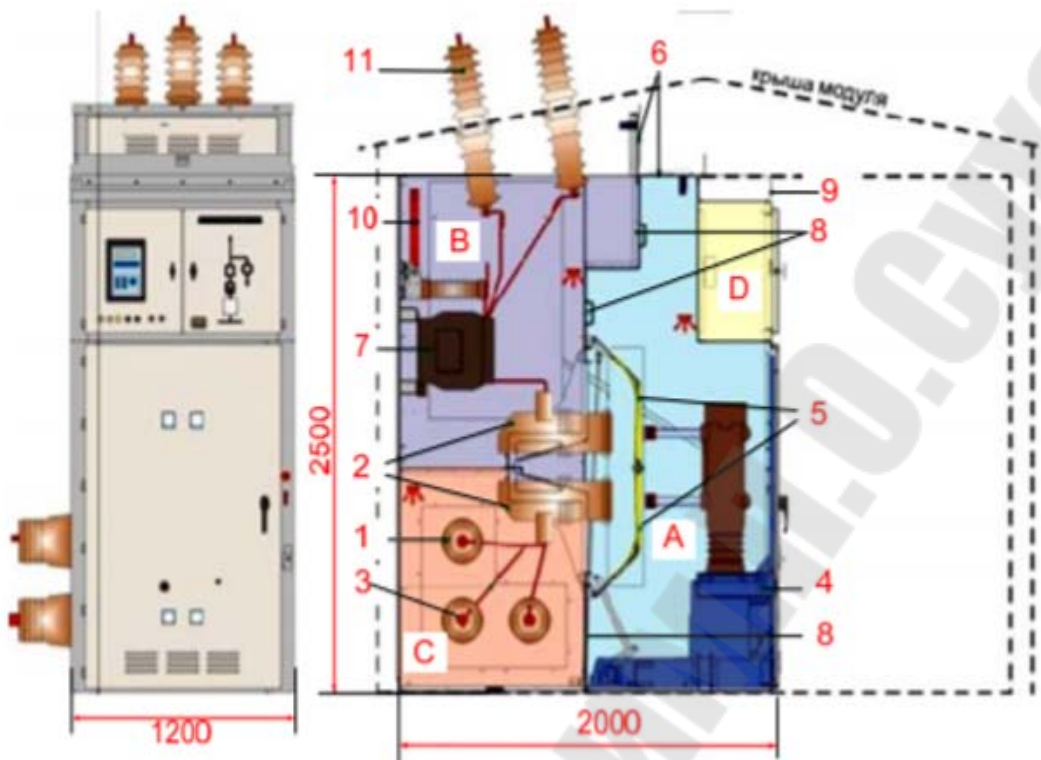


Рис. 7.9. Устройство КРУН-35 серии D-40

A- отсек выкатного элемента; B- отсек присоединений;

C- отсек сборных шин; D- отсек вторичных цепей;

- 1 – проходные изоляторы сборных шин; 2 – проходные изоляторы контактного узла; 3 – сборные шины; 4 – выдвигной элемент с выключателем; 5 – подвижные металлические шторки; 6 – клапаны сброса избыточного давления; 7 – трансформаторы тока; 8 – съемные перегородки; 9 – лоток вторичных цепей; 10 – заземлитель; 11 – проходные изоляторы.

Элегазовые КРУ

При напряжениях 35 кВ и выше находят применение КРУ с изоляцией из элегаза (рис.7.10). Все ведущие электротехнические фирмы производят ЭКРУ, например, «Siemens» выпускает элегазовые КРУ напряжением до 800 кВ. Отличительными особенностями таких РУ в первую очередь являются: экономичность; высокая эксплуатационная надежность; высокая степень герметичности; большой срок эксплуатации; низкие эксплуатационные расходы. Элегазовые КРУ могут устанавливаться под открытым воздухом, так и в зданиях.

СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ КРУЭ 220 кВ ПО СХЕМЕ ЗН



Основные модули КРУЭ типа ELK-04

- ① Шина с комбинированным разъединителем-заземлителем
- ② Выключатель
- ③ Трансформатор тока
- ④ Трансформатор напряжения
- ⑤ Линейный разъединитель – заземлитель
- ⑥ Быстродействующий заземлитель
- ⑦ Кабельный отсек
- ⑧ Шкаф местного управления

- Активные части под высоким напряжением
- Корпус отсека
- Элегаз
- Изоляционный материал
- Механические детали и конструкции
- Низковольтные устройства

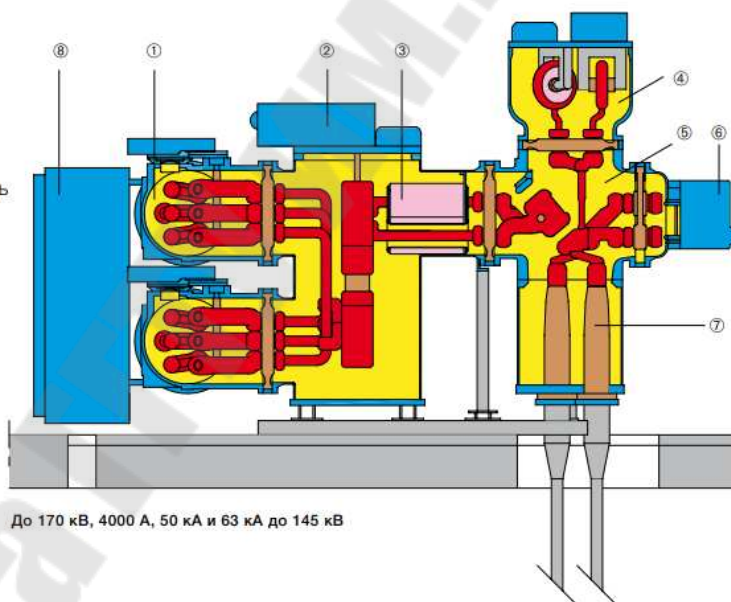


Рис. 7.10. Состав оборудования КРУЭ

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает: шкаф КРУ/БЕЛ производства «Ратон» с вакуумным выключателем ВВ-10/630 и шкаф КСО с выключателем нагрузки ВНП-10-630.

Описание схем управления лабораторной установкой приведено в прилагаемой к ней инструкции по эксплуатации.

3. Правила техники безопасности при выполнении работы

При выполнении лабораторной работы соблюдать инструкцию по технике безопасности при работе в лаборатории «Производство электроэнергии».

Запрещается проводить какие-либо операции в шкафах КРУ при поданном питании на лабораторные стенды изучаемых установок.

4. Содержание работы

1. Изучение устройства ячеек типа КСО, КРУ. Составление схем их первичных цепей.

2. Ознакомление с типами и номинальными параметрами аппаратов, смонтированных в этих ячейках.

3. Ознакомление со схемами управления аппаратов в ячейках. Включение и отключение выключателей непосредственно и дистанционно.

4. Проверка работы ячеек в аварийных режимах:

а) при коротком замыкании в сети и выведенном АПВ;

б) при введенном АПВ и неустойчивом коротком замыкании;

в) при введенном АПВ и устойчивом коротком замыкании.

5. Ознакомление с устройством выкатной тележки в ячейке КРУ и поочередное приведение тележки в три положения относительно корпуса:

1) рабочее,

2) испытательное,

3) ремонтное.

6. Изучение оперативных блокировок ячеек и составление схемы электромагнитной блокировки. Опробование действия блокировок: механических и электромагнитных.

7. Составление схемы и измерение времени отключения выключателя в ячейке КСО.

8. По заданию преподавателя выбрать коммутационный аппарат в ячейке РУ.

5. Порядок выполнения работы

1. Следует обратить внимание на оперативные блокировки, которыми могут снабжаться ячейки комплектных устройств.

2. Во избежание несчастного случая операции включения и отключения выключателя следует производить только при закрытых дверях ячейки и с разрешения преподавателя. Осмотр пружинно-грузового привода в ячейке КСО следует выполнять только в отключенном положении выключателя при ненатянутых включающих пружинах. Это относится и к осмотру устройства механической блокировки разъединителя и выключателя ячейки КСО.

3. Кнопки местного управления выключателем находятся на лицевой стороне ячеек. Для дистанционного управления служит ключ управления, находящийся на стенде ячейки КСО и на панели ячейки КРУ.

4. Ячейка КСО оборудована звуковой и световой сигнализацией аварийного отключения. Звуковой сигнал отключают тумблером на передней панели ячейки, а световой сигнал – кнопкой местного отключения выключателя. В ячейке КРУ выполнена световая сигнализация положения выключателя.

5. Ячейка 10 кВ пункта секционирования и АВР предназначена для деления сети на участки (автоматического отключения поврежденного участка) и для АВР в сети двух смежных участков.

6. Ячейки имеют механическую блокировку от неправильных действий с разъединителями. В ячейке КРУ смонтирован релейный шкаф, в котором размещены приборы. Шкаф КРУ имеет блокировку, запрещающую расфиксирование тележки при включенном выключателе.

6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Эскизы первичных цепей изученных ячеек.
3. Типы и параметры аппаратов, находящихся в ячейках.
4. Результаты измерений времени отключения выключателя.
5. Выбор коммутационного аппарата в ячейке РУ-10 кВ.
6. Выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. Что называется распределительным устройством?
2. Назовите области применения камер КСО, шкафов КРУ, КРУН.
3. Поясните отличие конструкции камер КСО от шкафов КРУ;

4. Устройство КРУН -35 серии D-40;
5. Устройство шкафа КРУН серии К-59 и К-47;
6. Устройство шкафа модуля КСО с выключателем нагрузки и предохранителем;
7. Устройство модуля КСО 2-10 с вакуумным выключателем;
8. Конструкция КРУ D-12РВ «Белэлтика»;
9. Конструкция шкафа распределительного устройства типа КРУ-К104М;
10. Поясните принцип управления силовыми аппаратами в изучаемых КРУ;
11. Виды основных ячеек КРУн/БЕЛ-10 в зависимости от встраиваемой аппаратуры и присоединений;
12. Какие изоляционные материалы применяются в КРУ?
13. Устройство КРУЭ, область применения.

8. Литература

1. Проектирование подстанций распределительного электросетевого комплекса: учеб. пособие / С.Е. Кокин, С.А. Дмитриев - Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2018 - 192 с.
2. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций. - М.: Издательский центр Академия, 2005. - 448 с.

Лабораторная работа № 8

ОПЕРАТИВНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ И ВЫВОД ОБОРУДОВАНИЯ В РЕМОНТ

1. Цель работы

Переключения в электрических установках электростанций и подстанций производятся с целью изменения оперативного состояния оборудования или схемы первичных соединений. Они осуществляются путем перемены положения коммутационных аппаратов, предназначенных для включения и отключения оборудования. Все операции при этом выполняются оперативным персоналом в определенной последовательности, обусловленной схемами первичных и вторичных соединений, назначением коммутационных аппаратов, режимами работы оборудования и другими причинами. Ошибки при переключениях приводят к тяжелым авариям, опасным для обслуживающего персонала и оборудования.

Цель работы состоит в изучении организации и порядка производства переключений в электрических установках станций и подстанций.

2. Теоретические сведения

2.1. Электрическое оборудование станций и подстанций участвует в едином процессе производства, распределения и потребления электрической энергии. Любые изменения в схемах станций и подстанций отражаются на режиме работы всей системы. Поэтому переключения являются наиболее ответственным моментом в работе оперативного персонала установок, требующем централизованного диспетчерского управления (руководства).

Для предупреждения ошибочных действий персонала при производстве измерений в схемах станций и подстанций техническим кодексом установившейся практики (ТКП 427 [1]) установлен строгий порядок организации и производства переключений.

ТКП установлены:

- способ отображения состояния главной схемы электрических соединений установок в любой момент времени;
- порядок выдачи, регистрации и исполнения распоряжений на переключения;
- порядок действий при выполнении переключений.

Состояние главных схем электрических соединений станций и подстанций отображается на оперативных схемах.

Под оперативными схемами понимают чертежи, на которых указывается основное оборудование установок. Выключатели и разъединители при этом показываются в их действительном положении на данный момент времени. Здесь же отмечаются включенные заземляющие ножи разъединителей, места наложения заземлений и закороток.

Оперативные схемы хранятся на щитах управления станций и подстанций. Они составляются дежурным персоналом. Все изменения состояния оборудования установок немедленно вносятся в оперативные схемы.

Переключения в электроустановках производятся лицами оперативного персонала, знающими правила производства переключений, прошедшими проверку знания схем, расположения оборудования, правил техники безопасности и допущенными к оперативной работе.

Разрешается включать электроустановку только после получения на это разрешения (распоряжения) лица, выдавшего разрешения на подготовку рабочих мест и на допуск, или лица, его заменившего. Только в неотложных случаях - угроза жизни людей, аварийном состоянии оборудования, стихийном бедствии - допускается выполнение переключений без разрешения диспетчера, но с последующим его уведомлением.

Разрешение (распоряжение) на переключения содержат последовательность операций и их конечную цель. Они могут быть переданы лично или по телефону. Лицо, получившее распоряжение, повторяет его и после подтверждения отдающего распоряжение, что понято правильно, записывает содержание в оперативный журнал. Порядок предстоящих операций уточняется по оперативной схеме и при необходимости составляется бланк переключений [1, п.5].

Бланк переключений является оперативным документом, определяющим содержание задания и последовательность выполнения операций. В нем в технологической последовательности записываются действия с коммутационными аппаратами, цепями оперативного тока, устройствами релейной защиты, операции проверки отсутствия напряжения, наложения и снятия заземлений и др. Составленный бланк нумеруется, проверяется и подписывается лицом, производящим операции и контролирующим их.

Без бланка переключений выполняются несложные переключения, имеющие малую вероятность неправильных действий. Кроме того, без бланка производятся переключения при ликвидации аварий.

Переключения производятся двумя лицами. Контролирует операции старший по должности, выполняет операции младший. Контролирующее лицо зачитывает по бланку переключений очередную операцию, исполнитель повторяет содержание операции и после разрешения выполняет ее. Каждая выполненная операция отмечается в бланке. Ответственность за правильность операций несут оба лица. При возникновении сомнений в правильности операций переключения приостанавливаются, выясняются сомнения у лица, отдающего распоряжение на переключения, и после уточнения - доводятся до конца.

По окончании переключений делается запись в оперативном журнале. Лицо, отдавшее распоряжение на переключения, уведомляется об окончании операций и выполненных изменениях в схеме электрических соединений.

Правильная последовательность операций при переключениях обуславливается схемами первичных и вторичных соединений, особенностями и расположением оборудования, принципами построения блокировочных устройств между разъединителями и выключателями и др. При этом под операциями понимаются действия, направленные на изменение положения коммутационных аппаратов первичных схем, а также устройств вторичной коммутации.

При разработке последовательности операций руководствуются следующими положениями.

В цепях, имеющих выключатели, при отключении цепи выключатель отключается первым, а при включении включается последним. Сами операции с выключателями производятся дистанционно со щитов управления.

Операции с разъединителями в цепях с выключателями выполняются только при отключенном положении выключателя. Для предупреждения самопроизвольного или ошибочного включения выключателя при действиях с разъединителями необходимо зафиксировать его положение, а операции с разъединителями выполнять только после визуальной проверки действительного состояния выключателя на месте установки.

Фиксирование положения выключателя осуществляется отключением питания цепей управления. Состояние выключателя на месте

установки проверяется по положению приводного механизма (по механическим указателям).

Нарушение, этих правил приводит к разрыву или включению разъединителем тока нагрузки и возникновению на его контактах электрической дуги, опасной для оборудования и людей. Последствия коммутирования тока нагрузки зависит от места установки разъединителя. При возникновении дуги, например, на шинном разъединителе она может переброситься на сборные шины, что вызовет их повреждение и отключение. При дуге на линейном разъединителе она может быть ликвидирована отключением выключателя и авария не распространится на всю установку.

В этой связи при переключениях необходимо соблюдать определенную очередность действий с разъединителями. Вначале выполняется операция с тем разъединителем, при ошибочном действии, с которым возникшая дуга не приведет к развитию аварии. После этого включаются или отключаются другие разъединители данной цепи.

ПТЭ разрешается отключение и включение разъединителями:

- нейтралей трансформаторов и дугогасительных реакторов;
- токов конкретных величин, значения которых устанавливаются ПУЭ (в зависимости от напряжения и типа разъединителей). Кроме того, разрешается отключать или включать под напряжением и током разъединитель, зашунтированный выключателем или другим разъединителем [2].

Включение разъединителей ручным приводом производится решительно и быстро, но без удара в конце хода ножа. Отключение выполняется медленно с тем, чтобы при появлении дуги быстро включить обратно. Во время переключений запрещается выводить из действия блокировки между разъединителями и выключателями.

Операции с разъединителями, выключателями нагрузки напряжением выше 1000 В с ручными приводами необходимо выполнять в электроизолирующих перчатках, применяя электроизолирующие боты или стоя на электроизолирующем ковре (электроизолирующей подставке).

Операции с устройствами релейной защиты и автоматики производятся своевременно. Ввод в работу, вывод из работы, изменение режима устройства РЗА осуществляется различной аппаратурой вторичных цепей. Эта аппаратура устанавливается в положения, при которых режимы работы защит и автоматики будут согласованы с режимами работы оборудования первичной схемы.

При производстве переключений для вывода оборудования в ремонт должны быть выполнены требования технического кодекса установившейся практики ТКП 427-2012 (02230) «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок». Эти требования направлены на обеспечение безопасных условий проведения ремонтных работ и заключаются в следующем.

С оборудования должно быть снято напряжение. Отключение напряжения должно производиться таким образом, чтобы оборудование со всех сторон было отделено от частей установки, находящихся под напряжением видимым разрывом. При этом необходимо предотвратить возможность появления на отключенном оборудовании напряжения за счет обратной трансформации от трансформаторов напряжения или силовых трансформаторов.

На приводах коммутационной аппаратуры, а также на ключах и кнопках управления коммутационными аппаратами, которыми отключена для работы ВЛ или КЛ, независимо от числа работающих бригад должен быть вывешен один плакат «НЕ ВКЛЮЧАТЬ! РАБОТА НА ЛИНИИ». Этот плакат вывешивается и снимается по указанию оперативного персонала, который дает разрешение на подготовку рабочих мест и ведет учет числа работающих на линии бригад [1, п.6].

На задвижках, закрывающих доступ воздуха в пневматические приводы выключателей, вывешивается плакат «НЕ ОТКРЫВАТЬ! РАБОТАЮТ ЛЮДИ».

Токоведущие части фаз отключенного оборудования соединяются между собой и заземляются. Заземления устанавливаются непосредственно на токоведущих частях оборудования. При делении ремонтируемой установки на части заземление устанавливается на каждой его части. Непосредственно установка заземлений осуществляется после подсоединения, заземляющего проводника к земле и проверки отсутствия напряжения на токоведущих частях, подлежащих заземлению, с помощью специального указателя напряжения.

В электроустановках должны быть вывешены плакаты «ЗАЗЕМЛЕНО» на приводах коммутационной аппаратуры, а также на ключах и кнопках управления коммутационными аппаратами, при включении которых может быть подано напряжение на заземленный участок электроустановки.

Для временного ограждения токоведущих частей, оставшихся под напряжением, могут применяться щиты, ширмы, экраны, изготовленные из изоляционных материалов.

Ограждения устанавливаются таким образом, чтобы предупредить приближение или прикосновение работающих к ближайшим частям установки, оставшимся под напряжением. На ограждениях вывешиваются плакаты: «Стоять - высокое напряжение», «Не влезай - убьёт».

Операции в цепях вторичной коммутации производятся с тем, чтобы режимы работы устройств защиты и автоматики соответствовали режимам первичных цепей. Они выполняются путем изменения положения накладок, переключателей, испытательных блоков и т.п. как непосредственно в цепях устройств РЗА, так и в цепях их питания. Каждая из операций во вторичных цепях должна производиться своевременно с тем, чтобы оборудование станций или подстанций всегда было защищено от повреждений при коротких замыканиях устройствами РЗА.

2.2. Порядок проведения операций с выключателями и разъединителями при включении и отключении отдельных электрических цепей.

Ниже рассматривается порядок проведения операций с выключателями и разъединителями без указания в ряде случаев поверочных и контрольных операций при включении и отключении отдельных электрических цепей [2].

Включение и отключение воздушной или кабельной линии электропередачи.

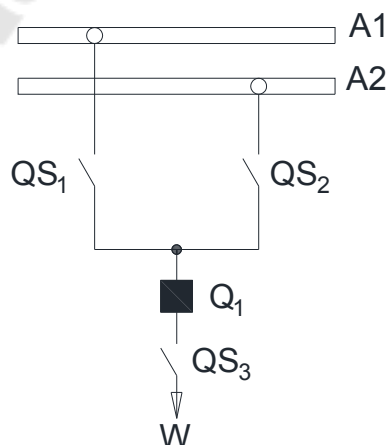


Рис. 8.1. Схема присоединения воздушной (кабельной) линии к сборным шинам A1.A2

Порядок включения линии (рис. 8.1) следующий:

1. Включают шинный разъединитель QS1.
2. Включают линейный разъединитель QS2.
3. Включают выключатель линии Q1.

Порядок отключения следующий:

1. Отключают выключатель Q1.
2. Отключают разъединитель QS2.
3. Отключают разъединитель QS1.

При эксплуатации КРУ выкатного типа (рис. 8.2) порядок отключения отходящей линии следующий:

1. Отключают выключатель линии Q1;
2. Полностью выкатывают тележку с выключателем из шкафа КРУ.

Ремонтное положение тележки соответствует отключенному положению линейного и шинного разъединителя в стационарном РУ обычного типа.

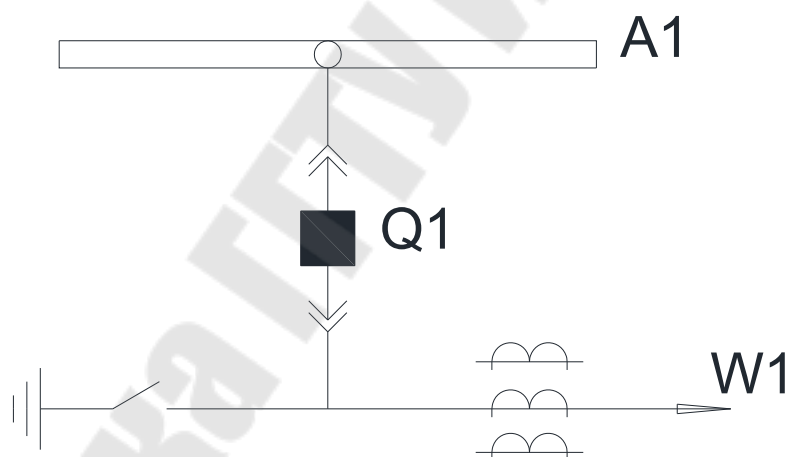


Рис. 8.2. Схема присоединения кабельной линии к сборным шинам A1 к ячейке КРУ

Включение и отключение силового трансформатора.

Для включения в работу трехобмоточного трансформатора (рис. 8.3) необходимо:

1. Включить шинный QS1 трансформаторный QS2 разъединители со стороны высшего напряжения.
2. Включить шинный QS3 и трансформаторный QS4 разъединители со стороны среднего напряжения.

3. Включить шинный QS5 и трансформаторный QS6 разъединители со стороны низкого напряжения.

4. Включить выключатели высшего Q1, среднего Q2 и низкого Q3 напряжений.

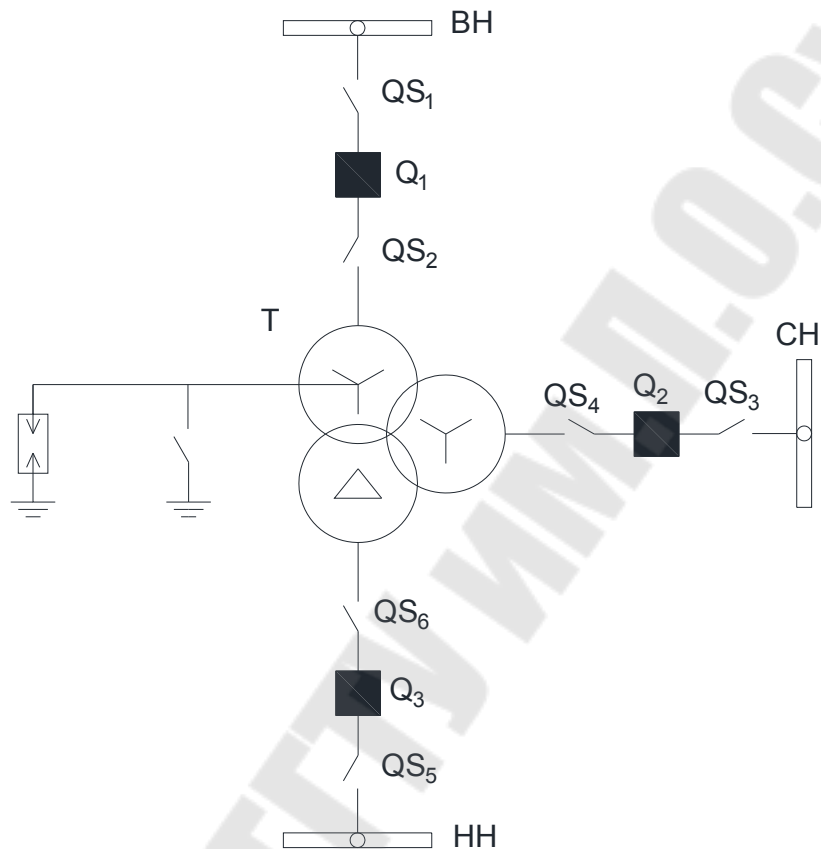


Рис. 8.3. Схема присоединения трехобмоточного трансформатора к сборным шинам высшего ВН, среднего СН и низкого НН напряжения (зачерненный квадрат - условное обозначение отключенного выключателя)

Для отключения трехобмоточного трансформатора необходимо:

1. Отключить выключатели низкого Q3, среднего Q2 и высшего Q1 напряжений.

2. Отключить трансформаторные QS6, QS4, шинные QS5, QS3 разъединители со стороны низкого, среднего, а затем высшего QS2, QS1 напряжений.

Сложные переключения.

Перевод присоединений с одной системы шин на другую (рис. 8.4). Перевод может быть полным, когда все присоединения переключо-

чаются на одну рабочую систему шин (СШ), либо частичным, когда только часть их переводится с одной системы работающих шин на другую. Необходимым условием для перевода является равенство потенциалов обеих СШ. Оно соблюдается при включении шиносоединительного выключателя QA, электрически соединяющего обе СШ.

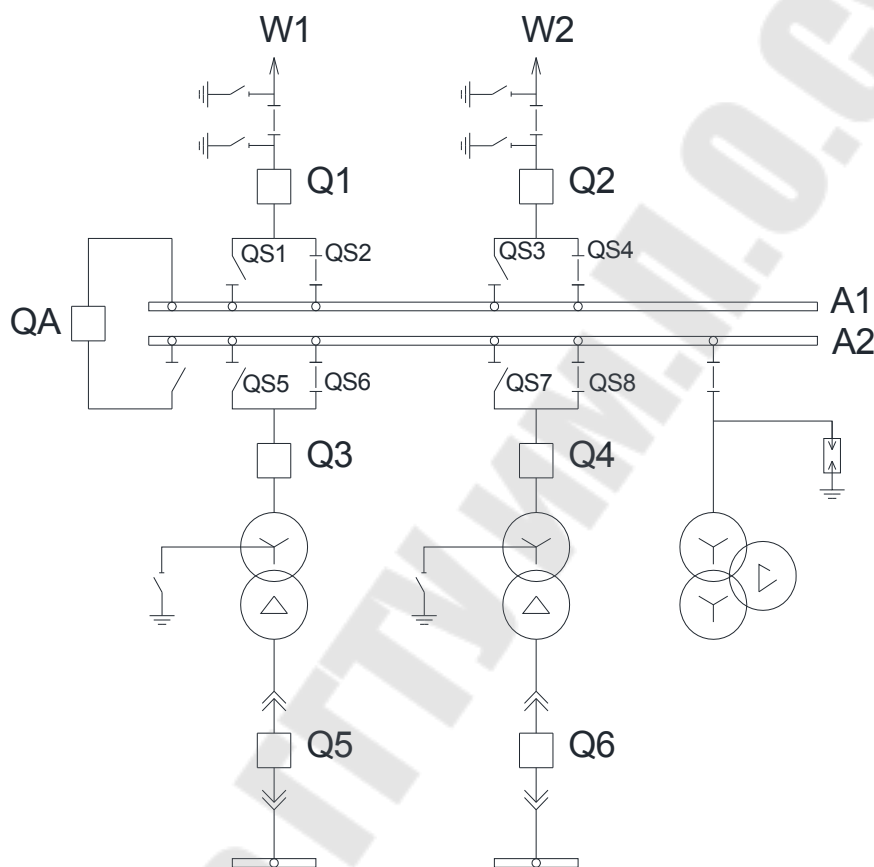


Рис. 8.4. Фрагмент схемы электрической сети с двумя секциями рабочих шин A1 и A2

Для перевода всех присоединений с одной рабочей СШ A1 с помощью выключателя QA необходимо:

1. Основное внимание обратить на проверку отсутствия заземлений, коротких замыканий, посторонних предметов и общее состояние СШ A1;
2. Убедиться в отсутствии напряжения на СШ A1.
3. Проверить уставки на защитах выключателя QA.
4. Наружным осмотром проверить готовность СШ A1 к принятию напряжения.
5. Включить выключатель QA и проверить по вольтметрам наличие напряжения на СШ A1.

6. Включить шинные разъединители QS1, QS3, QS5, QS7 всех переводимых присоединений на СШ А1, проверить включенное положение разъединителей.

7. Отключить шинные разъединители QS2, QS4, QS6, QS8 всех переводимых присоединений от СШ А2 и проверить их отключенное положение.

8. Отключить выключатель QA, убедившись по амперметру в отсутствии нагрузки на выключателе QA.

Без шиносоединительного выключателя QA (выключатель выведен в ремонт) возможен только полный перевод всех присоединений с рабочей на резервную СШ и при том условии, что резервная СШ не имеет напряжения.

Замена выключателя присоединения обходным выключателем.

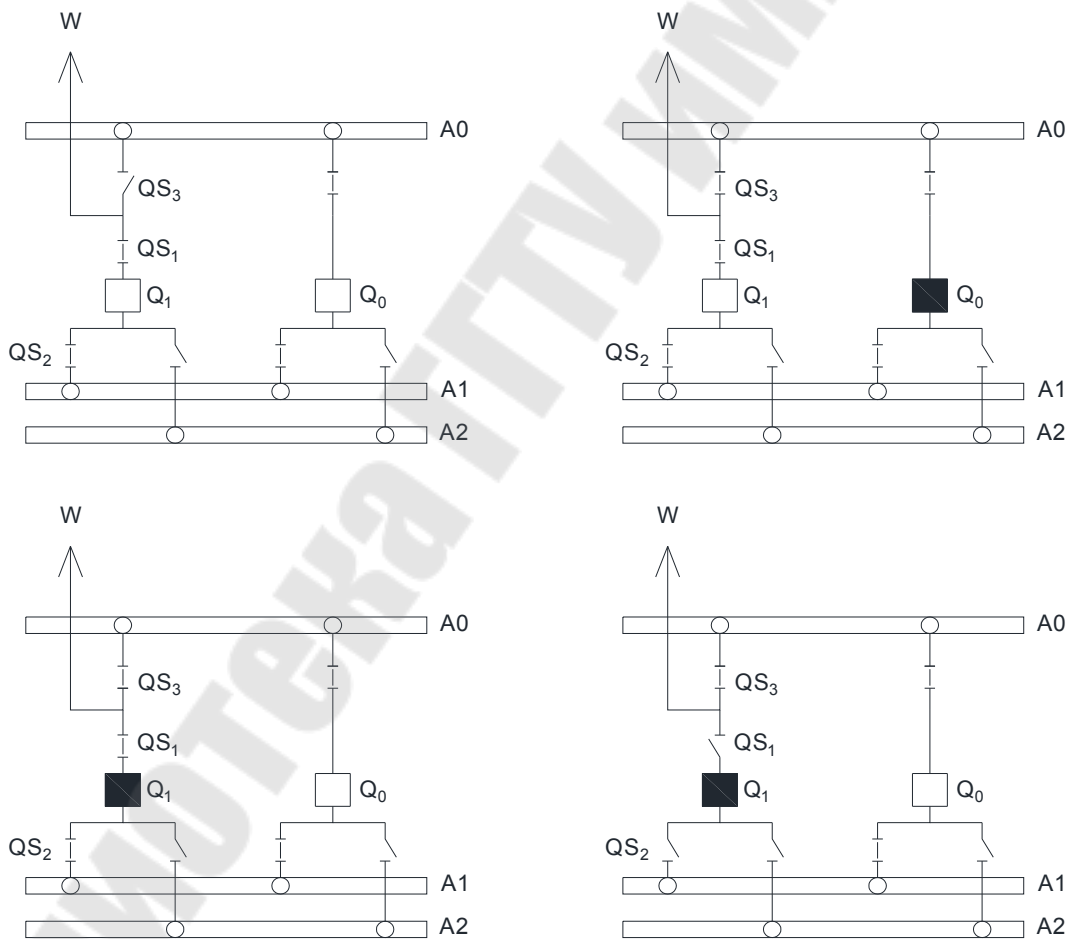


Рис. 8.5. Фрагмент схемы электрической сети с оперативным выходом в ремонт линейного выключателя (зачерненный квадрат - условное обозначение отключенного выключателя)

Основные этапы при замене выключателя присоединения (воздушной линии) выключателем QO (рис. 8.5) осуществляется в следующей последовательности:

1. Произвести внешний осмотр обходной системы шин АО (ОСШ), опробовать ее напряжением с помощью обходного выключателя QO от той системы шин, на которую включено присоединение с выводимым в ремонт выключателем Q1 (рис. 8.5, а), затем отключить выключатель QO.

2. Подать напряжение на ОСШ АО включением разъединителя QS3 (рис. 8.5, б).

3. Включить выключатель QO с уставками на его защитах, соответствующими уставкам защит присоединения - воздушной линии.

4. Отключить выводимый в ремонт выключатель Q1 (рис. 8.5, в).

5. Отключить разъединители QS1, QS2 с обеих сторон выводимого в ремонт выключателя Q1 (рис. 8.5, г).

Основной порядок переключения при вводе в работу выключателя (Q1 воздушной линии W, работающей через обходной выключатель QO, следующий:

1. Подключить токовые оперативные цепи к приводу вводимого в работу выключателя Q1.

2. Включить шинный разъединитель QS2.

3. Включить линейный разъединитель QS1.

4. Включить выключатель Q1.

5. Отключить обходной выключатель QO.

6. Отключить разъединитель QS3 обходной СШ АО.

3. Описание лабораторной установки

Для выполнения лабораторной работы используются компьютерный тренажер, на котором приводится главная схема электрических соединений двухтрансформаторной подстанции со схемой РУ с двумя рабочими и обходной системами шин.

4. Содержание лабораторной работы

1. Изучить схему электрических соединений станций и подстанций 13Н – две рабочие и обходная системы шин.

2. Разработать бланк переключений в соответствии с заданием преподавателя.

3. Составить отчет по работе.

5. Методические указания, пояснения и порядок выполнения работы

Для выполнения лабораторной работы используются компьютерная тренажер, по оперативным переключениям в электроустановках разработанный на кафедре «Электроснабжение» студенткой Пархомчук Е.В. под руководством старшего преподавателя Жуковец С.Г. Программа к тренажеру была выполнена по реальным бланкам переключений, используемых на подстанциях электросетей. Компьютерный тренажер выполнен на языке объектно-ориентированного программирования C#, подходит для работы на Windows 7/8/10, в виде статического тренажера, основанное на одноименной лабораторной работе по дисциплине: «Производство электроэнергии».

Выполнение любой работы надо начинать с первой позиции. В исходном состоянии схема электроустановки изображена псевдографически, причем отключенные аппараты имеют зеленый цвет, а включенные – красный. Изучение бланка переключений можно проводить либо из основного меню программы, либо из подменю исходного режима. Во втором случае схема исходного состояния на экране остается, а бланк переключений располагается ниже нее. Изучив бланк переключений, следует перейти к демонстрации переключений. Работа программы в этом случае идет пошагово, с переходом от одного шага к другому после нажатия на клавишу «Пробел». Демонстрацию можно повторять многократно, пока не будет изучена в первом приближении необходимая очередность действий. Полностью работа считается выполненной, когда будут до конца завершены действия по выполнению оперативных переключений. После этого позицию «Результаты работы» следует раскрыть для показа преподавателю. Нажатие на Enter при установке курсора в положении «Конец работы» возвращает пользователя в меню со списком всех программ, включенных в систему.

В качестве исходных данных для изучения оперативных переключений взяты:

- главная схема электрических соединений двухтрансформаторной подстанции со схемой РУ-110кВ, которая включает в себя две рабочие и обходную системы шин с подключением трансформаторов через развилку из двух разъединителей (рис. 8.6);
- потребители питаются от шины А1;

- высоковольтные выключатели Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6 включены;
- разъединительные ножи QS12, QS22, QS32, QS42, QS52, QS62, QS13, QS23, QS33, QS43, QS53, QS63 во включенном состоянии;
- трансформатор напряжения TV1 подключен через QS3.

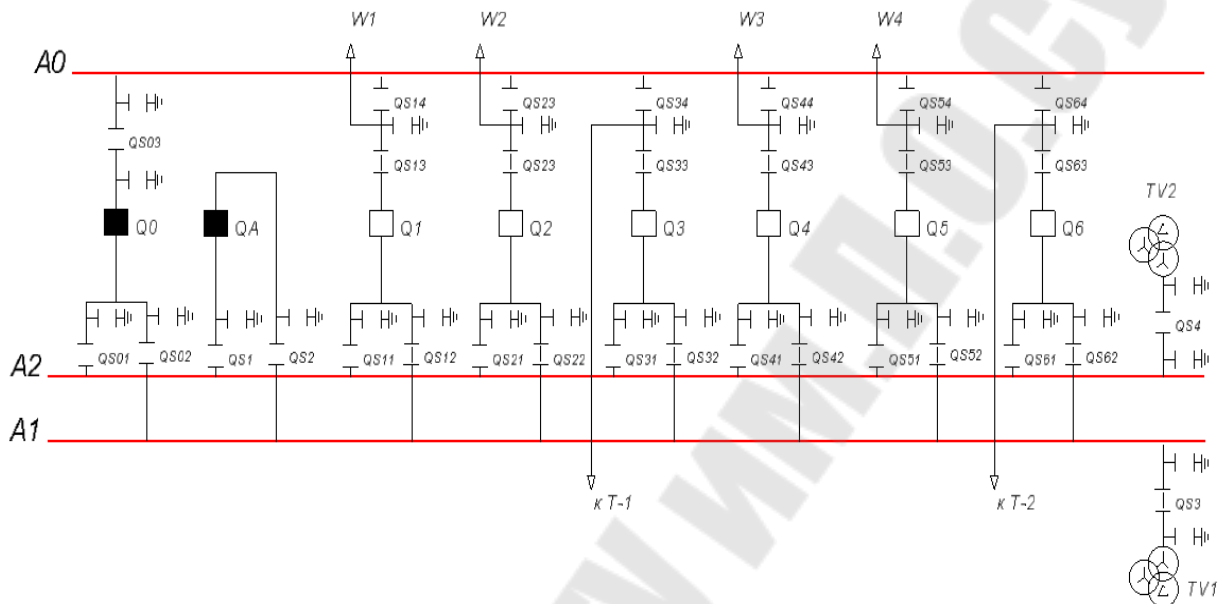


Рис. 8.6. Оперативная схема распределительного устройства 110 кВ – 13Н

Для выполнения лабораторной работы необходимо получить у преподавателя задание на переключения: это замена одного из выключателей присоединений обходным выключателем, либо перевод (полный или частичный) присоединений с одной системы шин на другую (рис. 8.6). В каждом из заданий после запуска программы на экран выходит меню разделов программы (рис. 8.7).

Рис. 8.7. Окно программы – Приступить к работе

В задании на переключения указывается состояние оборудования конкретной станции или подстанции (режим ее работы) и цель переключений. По этим данным составляется оперативная схема подстанции. Она вычерчивается на отдельном листе бумаги и впоследствии прикладывается к отчету.

Студенту необходимо разработать бланк переключений, где намечаются коммутационные аппараты, изменение положения которых обуславливается целью переключений. Руководствуясь положениями, изложенными в разделе 2.1 и 2.2, намечается очередность выполнения операций. Форма бланка переключений приведена в компьютерном тренажере и имеет следующий вид (рис. 8.8).

Студент после проверенного бланка приступает к оперативным переключениям непосредственно на оперативной схеме распределительного устройства.

Бланк переключений

Электростанция
Подстанция

Начало: 13:45
Конец: 14:15

Задание: Отключить и вывести в ремонт СШ А1 110 кВ

Последовательность производства операций при переключении:

1. У шинсоединительного выключателя QA 110 кВ включить разъединители QS1 и OS2.
2. Собрать схему релейной защиты на ОА с мгновенной уставкой времени для опробования СШ А2 напряжением.
3. Включить выключатель ОА.
4. Снять предохранители оперативных цепей управления выключателя QA.
5. Включить шинный разъединитель OS3 трансформатора T2 линии
6. Включить шинный разъединитель OS4 линии W4.
7. Включить шинный разъединитель OS5 линии W3.
8. Включить шинный разъединитель QS6 трансформатора T1.
9. Включить шинный разъединитель QS7 линии W2.
10. Включить шинный разъединитель OS8 линии W1.
11. Включить трансформатор напряжения TV2 шин А2.
12. Отключить трансформатор напряжения TV1 шин А1.
13. Отключить шинный разъединитель OS9 линии W1.
14. Отключить шинный разъединитель OS 10 линии W2.
15. Отключить шинный разъединитель OS 11 трансформатора T1.
16. Отключить шинный разъединитель OS12 линии W3.
17. Отключить шинный разъединитель OS 13 линии W4.
18. Отключить шинный разъединитель OS 14 трансформатора T2

Бланк заполнил и провел переключения: Иван Иванов ЭПП-31
Бланк проверил и контролирует: Жуковец Светлана Григорьевна

Рис. 8.8. Бланк переключений

Главная схема электрических соединений представлена в виде оперативной схемы. Под оперативными схемами понимают чертежи, на которых указывается основное оборудование установок. Выключатели (рис. 8.9, а), разъединители (рис. 8.9, б) и заземляющие ножи (рис. 8.9, в) при этом показываются в их действительном положении на данный момент времени. Исходя из принципа действия элементы схемы отображаются в двух состояниях: включенные и отключенные, однако в программном тренажере для отображения ошибочных переключений выключатели имеют еще два состояния: опасное включенное и опасное выключенное положение. Таким образом ошибочные действия выявляются в реальном времени.

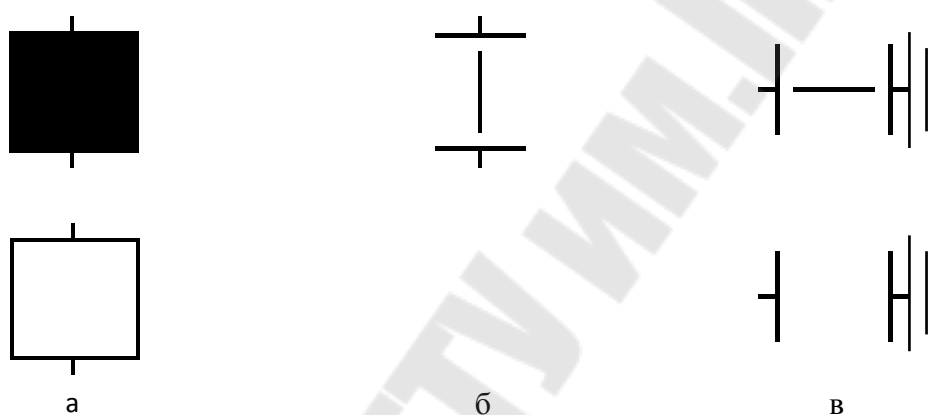


Рис. 8.9. Функциональные элементы программного тренажера

Так же для отображения состояний изображается цветовая индикация, «сигнальные лампы» рис. 8.10, возле каждого элемента схемы. В соответствии с устоявшимися правилами в диспетчерских пунктах электроснабжения, красным обозначают включенные элементы системы, зеленым – выключенные. В нормальном режиме работы «сигнальные лампы» продолжительно «горят», а для обозначения опасных операций переходят в режим мигания, таким образом показывая обучающемуся о не правильных действиях (рис. 8.11). Кроме этого для обозначения не правильных операций появляется окно с инструкциями для продолжения работы.

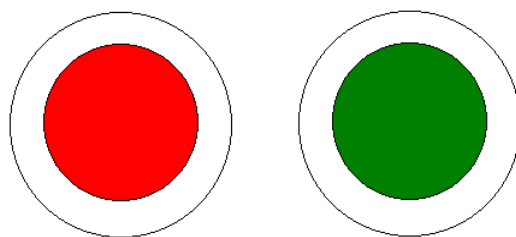


Рис. 8.10. Цветовая индикация – «сигнальные лампы»

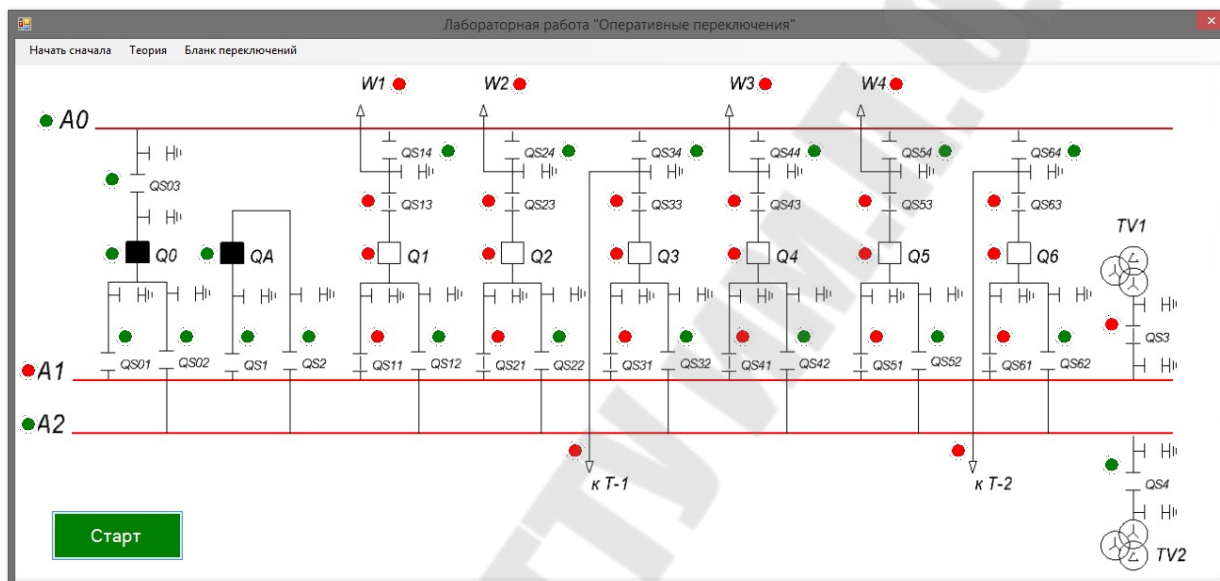


Рис. 8.11. Диалоговое окно программы

При разработке алгоритма программного тренажера была учтена вся техника переключений, включая:

- проверки на работоспособность элементов;
- проверку на сохранение питания потребителей;
- проверку на подключение измерительных трансформаторов.

В результате все элементы взаимосвязаны друг с другом, и каждое действие с элементами отображается на экране.

Благодаря разработанному программному тренажеру в рамках лабораторной работы, студенты имеют возможность отработать следующие виды переключений:

- Включение и отключение выключателя воздушной линии электропередачи;
- Включение и отключение силового трансформатора;
- Сложные переключения: перевод присоединений с одной системы шин на другую;

- Замена выключателя присоединения обходным выключателем.

При производстве переключений для вывода оборудования в ремонт выполняются и закрепляются требованиями технического кодекса установившейся практики ТКП 427-2022 (33240) «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок».

Для наблюдения за ходом выполнения лабораторной работы была создана функция отображения действий в виде списка. При каждом переключении в список добавляется запись, соответствующая действию студента. Для визуализации не правильных переключений используется красный цвет. Таким образом преподаватель сможет выявить ошибки студента и объяснить не понятый материал.

При использовании программного тренажера можно уменьшить количество допускаемых ошибок при проведении оперативных переключений. Простота интерфейса позволяет визуализировать действия и обратить внимание на ошибки, ведь чем сложнее схема электрических соединений, тем больше проводят операций с переключениями.

6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Оперативная схема станции (подстанции).
3. Задание на переключение.
4. Заполненные бланки переключений.

7. Контрольные вопросы

1. Кому разрешается производство переключений в электроустановках?
2. Почему переключения в схемах станций и подстанций должны быть согласованы с режимом работы энергосистемы?
3. Как производятся переключения?
4. Какая схема используется для разработки последовательности операций при переключениях?
5. Какую информацию содержит разрешение (распоряжение) на переключения и кем оно выдается?
6. Назначение разъединителя и особенности работы с ним при переключениях.
7. Что такое бланк переключений и кем он выдается?
8. Кто несет ответственность за правильность выполнения переключений?

9. В чем состоит особенность переключений при выводе оборудования в ремонт?
10. Плакаты безопасности при оперативных переключениях.
11. Назовите и поясните последовательность операций при выводе в ремонт выключателя воздушной линии.
12. Назовите и поясните последовательность операций при выводе в ремонт выключателя, расположенного в КРУ выкатного типа.
13. Назовите и поясните последовательность операций при выводе в ремонт силового трансформатора.
14. Назовите и поясните последовательность операций при переводе присоединений с одной системы шин на другую.
15. Назовите последовательность операций при выводе из работы выключателя отходящей линии в РУ с двумя рабочими и одной обходной системами шин.
16. Назовите последовательность операций при выводе из работы системы шин в РУ с двумя рабочими и одной обходной системами шин.

Литература

1. Технический кодекс установившейся практики ТКП-427-2012 (02230) Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок – Минск.
2. Электрическая часть станций и подстанций. Практическое пособие к лабораторным работам по одноименному курсу для студентов дневной и заочной форм обучения по спец. 1-42 01 03 «Электроснабжение» / Г.И. Селиверстов, В.Н. Петренко, – Гомель, ГГТУ им. П.О. Сухого, 2004. М/ук. № 2459.
3. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. - М.: Энергоатомиздат, 2005 с. 380-478.
4. Филатов А.А. Переключения в электрических распределительных устройствах. М.: Энергия.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П.О. Сухого»

Энергетический факультет

Кафедра «Электроснабжение»

ОТЧЕТ

ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1
на тему: «Силовые трансформаторы»

Выполнил студент группы ЭПП-31
(ФИО студента)

Принял: _____
(должность, ФИО руководителя)

Дата защиты _____

Зачтено _____

2023 г.

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**Практикум
по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-43 01 03
«Электроснабжение (по отраслям)»
дневной формы обучения**

**Составители: Жуковец Светлана Григорьевна
Зализный Дмитрий Иванович**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 17.05.24.

Per. № 123E.
<http://www.gstu.by>