

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ**

Методическое пособие

для лабораторных работ по курсу

**ПРОИЗВОДСТВО, ПЕРЕДАЧА И
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

ТАШКЕНТ 2007

УДК 621.311.1(075.8)

«Производство, передача и распределение электроэнергии».

Методическое пособие для лабораторных работ./Сытдыков Р.А., Гайибов Т.Ш.

Радионова О.В. – Тошкент. ТашГТУ, 2007 – 52 с.

В методическом пособии даны необходимые указания и сведения для предварительной теоретической подготовки, проведения, оформления отчетов по лабораторным работам. По каждой лабораторной работе приведены цель работы, краткие теоретические сведения, программа и порядок выполнения и контрольные вопросы. ,

Методическое пособие рассчитано для студентов бакалавриата по образовательному направлению 5520200 - «Электроэнергетика». Состав и содержание приведенных лабораторных работ охватывает все вопросы, изучаемые в соответствии с программой данного курса.

Рецензенты: Зав.кафедрой «Горная электромеханика» Ташкентского
государственного технического университета
д.т.н., проф.Пирматов Н.Б.,

Зам.начальника НДЦ ГАК «Узбекэнерго»
к.т.н. Мирзаев А.Т.

(С)

Ташкентский государственный технический университет, 2007

Лабораторная работа № 1

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕМ СТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Цель работы: ознакомление с назначением, конструкцией, принципом действия и параметрами основного электрооборудования станций и подстанций

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электроэнергетическая система (ЭЭС) состоит из элементов, которые можно разделить на три группы:

- **основные (силовые)** элементы — генерирующие агрегаты электростанций, преобразующие энергию воды или пара в электроэнергию; трансформаторы, автотрансформаторы, выпрямительные установки, преобразующие значения и вид тока и напряжения; линии электропередач (ЛЭП), передающие электроэнергию на расстояние; коммутирующая аппаратура (выключатели, разъединители и др.), предназначенные для изменения схемы ЭЭС и отключения поврежденных элементов; защитные и ограничивающие аппараты (предохранители, токоограничивающие реакторы, разрядники);
- **измерительные элементы** — трансформаторы тока и напряжения, предназначенные для подключения измерительных приборов, средств управления и регулирования;
- **средства управления** — релейная защита, регуляторы, автоматика, телемеханика, связь, обеспечивающие оперативное и автоматическое управление схемой и работой ЭЭС.

Синхронные генераторы

Синхронные генераторы (СГ) предназначены для преобразования механической энергии паровой, газовой или гидравлической турбины, вращающей ротор СГ, в электрическую энергию.

Частота вращения турбины может быть различной — в диапазоне от десятков до сотен и даже тысяч оборотов в минуту: ниже для гидравлических турбин и выше для остальных видов.

Частота ЭДС генератора f_1 равна произведению частоты вращения ротора n_2 в оборотах в секунду на число пар полюсов ротора p , отсюда

$$f_1 = p^* n_2.$$

Синхронные генераторы, вращаемые паро- и газовыми турбинами, называются турбогенераторами, а вращаемые гидравлическими турбинами — гидрогенераторами.

Большинство турбогенераторов имеют число пар полюсов равное единице, значит для сети 50 Гц $n_2 = f_1/p = 50 \text{ об/с}$ или $n_2 = 60f_1/p = 3000 \text{ об/мин}$. Для стран, где принята частота напряжения 60 Гц (США, Япония и др.), частота вращения ротора составит 3600 об/мин.

Для генераторов с большим, чем единица, числом пар полюсов частота вращения роторов будет частным от деления 3000 (или 3600) на число пар полюсов, об/мин:

$$1500, 1000, 750, 600 \text{ и т.д. (для 50 Гц).}$$

Силовые трансформаторы

Для связи с энергосистемой и потребителями, а также для питания собственных потребителей (собственных нужд) на электрических станциях и подстанциях устанавливают повышающие и понижающие *трансформаторы*. На крупных электростанциях и подстанциях для связи двух высших напряжений, как правило, применяются *автотрансформаторы*, обладающие существенными технико-экономическими преимуществами в сравнении с обычными трансформаторами. Стоимость автотрансформатора, потери энергии при эксплуатации значительно ниже, чем у обычных трансформаторов той же мощности.

Структура условного обозначения типа трансформатора

Буквенная часть условного обозначения содержит обозначения в следующем порядке:

- А — автотрансформатор;
- О или Т — одно- или трехфазный трансформатор;
- Р — расщепленная обмотка НН;
- Т — трехобмоточный трансформатор;
- Н — трансформатор с РПН (с регулированием напряжения под нагрузкой);
- С — исполнение трансформатора собственных нужд электростанции;
- Л — трансформатор с литой изоляцией.

Условное обозначение видов охлаждения:

- а) масляные трансформаторы:
 - М — естественная циркуляция воздуха и масла;
 - Д — принудительная циркуляция воздуха и естественная циркуляция масла;
 - МЦ — естественная циркуляция воздуха и принудительная циркуляция масла с ненаправленным потоком масла;
 - НМЦ — естественная циркуляция воздуха и принудительная циркуляция масла с направленным потоком масла;
 - ДЦ — принудительная циркуляция воздуха и масла с ненаправленным потоком масла;
 - НДЦ — принудительная циркуляция воздуха и масла с направленным потоком масла;
 - Ц — принудительная циркуляция воды и масла и ненаправленным потоком масла (в охладителях вода движется по трубам, а масло — в межтрубном пространстве, разделенном перегородками);
 - НЦ — принудительная циркуляция воды и масла с направленным потоком масла;
- б) трансформаторы с жидким негорючим диэлектриком:
 - Н — естественное охлаждение негорючим жидким диэлектриком;

- НД — охлаждение негорючим жидким диэлектриком с принудительной циркуляцией воздуха;
- ННД — охлаждение негорючим жидким диэлектриком с принудительной циркуляцией воздуха и направленным потоком жидкого диэлектрика;
- в) сухие трансформаторы:
 - С — естественное воздушное при открытом исполнении;
 - СЗ — естественное воздушное при защищенном исполнении;
 - СГ — естественное воздушное при герметичном исполнении;
 - СД — воздушное с принудительной циркуляцией воздуха;
 - З — исполнение трансформатора с естественным масляным охлаждением или с охлаждением негорючим жидким диэлектриком с защитой при помощи азотной подушки без расширителя.

Измерительные трансформаторы

Измерительные трансформаторы используют, главным образом, для подключения электроизмерительных приборов к цепи переменного тока высокого напряжения. При этом электроизмерительные приборы оказываются изолированными от цепей высокого напряжения, что обеспечивает безопасность работы обслуживающего персонала. Кроме того, измерительные трансформаторы дают возможность расширять пределы измерения приборов, т.е. измерять большие токи и напряжения с помощью сравнительно несложных приборов, рассчитанных для измерения малых токов и напряжений. В ряде случаев измерительные трансформаторы служат для подключения к цепям высокого напряжения обмоток реле, обеспечивающих защиту электроустановок от аварийных режимов.

Измерительные трансформаторы подразделяют на два типа — ***трансформаторы напряжения и трансформаторы тока.***

Трансформаторы напряжения служат для включения вольтметров, а также других приборов, реагирующих на значение напряжения (например,

катушек напряжения ваттметров, счетчиков, фазометров и различных реле). Вторые служат для включения амперметров и токовых катушек указанных приборов. Измерительные трансформаторы изготавливают мощностью от пяти до нескольких сотен вольт-ампер; они рассчитаны для совместной работы со стандартными приборами (амперметрами на 1; 2; 2,5 и 5 А, вольтметрами на 100 и $100\sqrt{3}$ В).

Коммутационные аппараты

Коммутационные аппараты используются для формирования необходимых схем передачи энергии от ее источника (электростанции) к потребителю.

Рассмотрим наиболее важные аппараты.

Выключатели предназначены для оперативной и аварийной коммутации в энергосистемах, т.е. выполнения операций включения и отключения отдельных цепей при ручном или автоматическом управлении. Во включенном состоянии выключатели должны беспрепятственно пропускать токи нагрузки. Характер режима работы этих аппаратов несколько необычен: нормальным для них считается как включенное состояние, когда они обтекаются током нагрузки, так и отключенное, при котором они обеспечивают необходимую электрическую изоляцию между разомкнутыми участками цепи. Коммутация цепи, осуществляемая при переключении выключателя из одного положения в другое, производится нерегулярно, время от времени, а выполнение им специфических требований по отключению возникающего в цепи короткого замыкания чрезвычайно редко. Выключатели должны надежно выполнять свои функции в течение срока службы (25 лет), находясь в любом из указанных состояний, и одновременно быть всегда готовыми к мгновенному эффективному выполнению любых коммутационных операций, часто после длительного пребывания в неподвижном состоянии. Отсюда следует, что они должны иметь очень высокий коэффициент готовности: при малой

продолжительности процессов коммутации (несколько минут в год) должна быть обеспечена постоянная готовность к осуществлению коммутаций.

Разъединители применяются для коммутации обесточенных при помощи выключателей участков токоведущих систем, для переключения РУ с одной ветви на другую, а также для отделения на время ревизии или ремонта силового электротехнического оборудования и создания безопасных условий от смежных частей линии, находящихся под напряжением. Разъединители способны размыкать электрическую цепь только при отсутствии в ней тока или при весьма малом токе. В отличие от выключателей разъединители в отключенном состоянии образуют видимый разрыв цепи. После отключения разъединителей с обеих сторон объекта, например выключателя или трансформатора, они должны заземляться с обеих сторон либо при помощи переносных заземлителей, либо специальных заземляющих ножей, встраиваемых в конструкцию разъединителя.

Отделитель служит для отключения обесточенной цепи высокого напряжения за малое время (не более 0,1 с). Он подобен разъединителю, но снабжен быстродействующим приводом.

Короткозамыкатель служит для создания искусственного короткого замыкания (КЗ) в цепи высокого напряжения. Конструкция его подобна конструкции заземляющего устройства разъединителя, но снабженного быстродействующим приводом.

Короткозамыкатели и отделители устанавливаются на стороне высшего напряжения РУ малоответственных потребителей, когда в целях экономии площади и стоимости РУ выключатели предусмотрены только на стороне низшего напряжения.

Ограничивающие аппараты

Ограничивающие аппараты подразделяются на аппараты ограничения тока и напряжения.

К токоограничивающим аппаратам относятся предохранители и реакторы высокого напряжения.

Плавкие предохранители предназначены для защиты силовых трансформаторов и измерительных трансформаторов напряжения, воздушных и кабельных линий, конденсаторов.

Токоограничивающие реакторы представляют собой катушку индуктивности без стали и служат для ограничения тока короткого замыкания (КЗ) и поддержания напряжения на сборных шинах РУ. Применение их позволяет существенно снизить требования к выключателям по электродинамической, термической стойкости и отключающей способности в сетях с реакторами по сравнению с аналогичными сетями, не защищенными реакторами.

В качестве ограничителей грозовых и внутренних *перенапряжений* используются *разрядники и ограничители перенапряжения*. Они должны быть установлены вблизи силовых повышающих трансформаторов и вводов воздушных линий в РУ. Они позволяют снизить требования к прочности электрической изоляции аппаратов и оборудования РУ, уменьшить габаритные размеры электрической установки и значительно снизить ее стоимость.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с элементами конструкции трехфазного синхронного генератора. Сделать эскиз и записать его паспортные данные.
2. Ознакомиться с различными типами силовых трансформаторов, имеющихся в лаборатории. Записать их паспортные данные. Сделать эскизы.
3. Ознакомиться с различными типами коммутационных аппаратов, имеющихся в лаборатории. Записать их паспортные данные. Сделать эскизы.
4. Ознакомиться с измерительными трансформаторами тока и напряжения. Записать их паспортные данные. Сделать эскизы.

5. Ознакомиться с защитными и ограничивающими аппаратами, имеющимися в лаборатории. Записать их паспортные данные. Сделать эскизы.
6. Заполнить таблицу 1.1.

Таблица 1.1.

№ п/п	Название и тип оборудования	Условное обозначение	Назначение	Паспортные данные

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Классификация электрооборудования станций и подстанций.
3. Краткое описание принципа действия основного оборудования электростанций и подстанций.
4. Эскизы и паспортные данные лабораторного оборудования.
5. Таблица 1.1.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Классификация электрооборудования станций и подстанций.
2. Принцип действия синхронного генератора.
3. Принцип действия трансформатора.
4. Принцип действия асинхронного двигателя.
5. Назначение измерительных трансформаторов.
6. Назначение коммутационных аппаратов.
7. Назначение защитных и ограничивающих аппаратов.
8. Перечислите основные параметры генераторов.
9. Какими паспортными данными характеризуется трансформатор?
10. Какими основными параметрами характеризуются коммутационные и защитные аппараты?

Лабораторная работа № 2

ОЗНАКОМЛЕНИЕ С КОНСТРУКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Цель работы: ознакомление с конструктивными элементами воздушных линий (ВЛ) электропередачи – проводами, изоляторами, линейной арматурой – и изучение их устройства

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Воздушная линия — это линия электропередачи, провода которой поддерживаются над землей с помощью опор, изоляторов и арматуры.

1. Провода.

Провода воздушных линий предназначены для передачи электрической энергии. На ВЛ подвешиваются голые (неизолированные) провода, состоящие из одной или нескольких проволок. Провода из одной проволоки, называемые однопроволочными, имеют меньшую прочность и применяются, как правило, на линиях напряжением до 1000 В. Многопроволочные провода, свитые из нескольких проволок, используются на линиях всех напряжений.

Однопроволочные провода. Согласно ПУЭ на линиях напряжением до 1000 В допускается применение однопроволочных проводов диаметром до 5 мм (рис. 2.6). В каждом конкретном случае минимальный диаметр ограничивается механической прочностью; провода меньшего диаметра имеют недостаточную прочность. Наибольшие диаметры ограничены из-за того, что изгибы однороволочного провода большего диаметра могут вызвать в его слоях такие остаточные деформации, которые приводят к существенному снижению его прочности.

Многопроволочные провода. Скрученные из нескольких проволок провода обладают большой гибкостью; они могут быть выполнены любого необходимого сечения (рис. 2.а,в,г). Диаметры отдельных проволок и их число

подбирают так, чтобы сумма поперечных сечений отдельных проволок дала требуемое общее сечение провода.

Как правило, многопроволочные провода изготавливаются из круглых проволок, причем в центре помещаются одна, три, четыре или пять проволок одинакового диаметра.

Наиболее распространены конструкции с одной центральной проволокой; провода с тремя или пятью свитыми вместе центральными проволоками применяются в случаях, когда желательно увеличить диаметр провода.

Применение проводов обычной многопроволочной конструкции с увеличенным по этой причине диаметром неэкономично, поскольку сечение такого провода из-за явления поверхностного эффекта при протекании по нему переменного тока используется не полностью, т.е. какое-то количество материала не работает и является как бы лишним. Пустотелая конструкция позволяет избежать перерасхода цветного металла и удорожания ВЛ. Аналогичные цели преследовались и при создании расширенных проводов за счет размещения внутри многопроволочной конструкции каркасных спиралей или стеклопластиковых наполнителей.

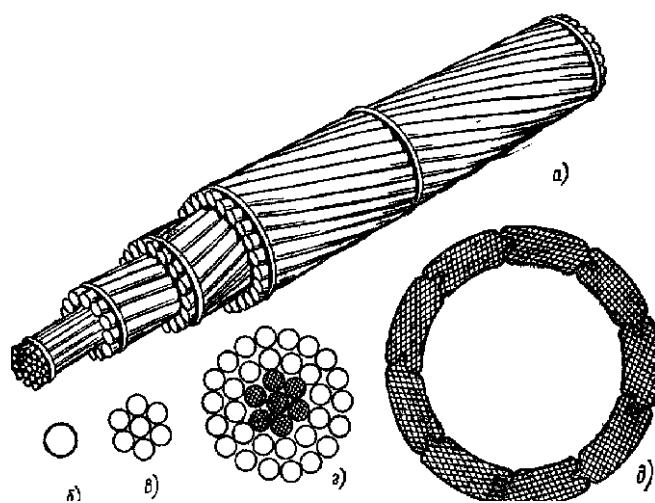


Рис. 2.1. Устройство проводов ВЛ:

- а) общее устройство многопроволочного провода; б) однопроволочный провод; в,г) конструкции с одной и пятью центральными проволоками; д) полый проводник.

Основным используемым типом проводов для ВЛ 35—500кВ до настоящего времени являются сталялюминиевые. Они имеют стальной сердечник из 1, 7, 19, 37 или 61 проволоки (соответственно 1, 2, 3, 4 или 5 повивов). Стальной сердечник служит для увеличения механической прочности провода. На этот сердечник накладываются от 1 до 4 повивов алюминиевых проволок. В соответствии с ГОСТ 839-80 сталялюминиевые провода выпускаются в четырех модификациях (марок АС, АСК, АСКС и АСКП).

Наличие в марке буквы «К» символизирует *коррозионную устойчивость* провода. Такие провода применяются в районах с «загрязненной атмосферой» (на побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и т.п.). Стойкость против коррозии обеспечивается, во-первых, изоляцией стального сердечника двумя лентами из синтетической пленки и, во-вторых, нанесением на его поверхность нейтральной смазки повышенной термостойкости (марка АСК) или заполнением ею сердечника (марка АСКС) или всего провода (марка АСКП).

В соответствии с ГОСТ 839-80 обозначение сталялюминиевых проводов состоит из обозначения марки (АС, АСК, АСКС, АСКП) и *номинальных сечений* алюминиевой части и стального сердечника, например АС 150/24, АСК 240/56 и т. п.

2. Изоляторы.

Изоляторы ВЛ изготавливают в основном из фарфора или закаленного стекла. Вместе с тем, в последние два десятилетия все шире начинают применяться и полимерные изоляторы. Фарфор и стекло обладают высокой стойкостью к атмосферным воздействиям, достаточно высокой механической и электрической прочностью. Стеклянные изоляторы легче фарфоровых, лучше противостоят ударным нагрузкам и не растрескиваются, а рассыпаются при пробое, что облегчает визуальное нахождение места повреждения при осмотрах линии.

Конструктивно различаются два вида стеклянных и фарфоровых изоляторов — штыревые и подвесные. **Штыревые** (рис. 2.2, а) применяются на ВЛ до 35 кВ включительно. Корпус изолятора имеет внутреннюю резьбу и навинчивается на металлический штырь или крюк. Провод укладывается в углубление на головке изолятора и закрепляется проволочной вязкой. В марке изолятора присутствует обозначение типа (Ш), материала (С или Ф), номинального напряжения (в киловольтах) и исполнения (А, Г и др.). Так, например, изолятор ШС10-Г (грязестойкого исполнения, т.е. для районов с загрязненной атмосферой) имеет высоту 145 мм, диаметр корпуса 160 мм и массу 2,1 кг.

Подвесные изоляторы (рис. 2.2. б) применяются на ВЛ напряжением 35 кВ и выше. Марка изолятора содержит буквы П (подвесной), С (стеклянный) или Ф (фарфоровый), Г (грязестойкий) и А, Б, В, Д (обозначение модификации). Цифрой обозначается максимальная (разрушающая) механическая нагрузка в килонаьютонах (кН), например ПФ70-В, ПСГ120-А, ПС400-А и т. п.

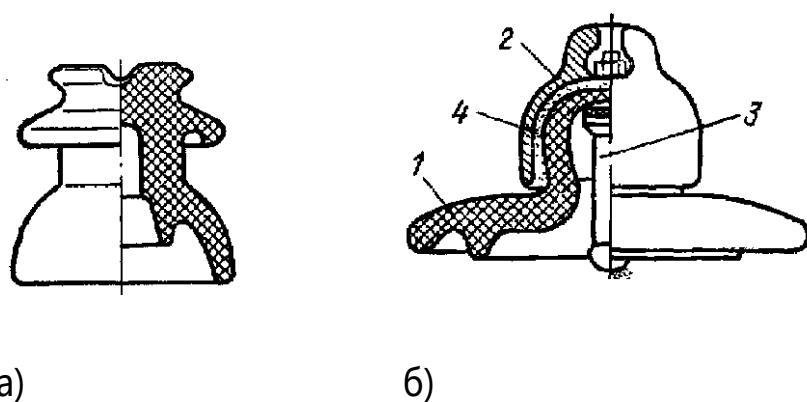


Рис 2.2. Штыревые и подвесные изоляторы.

а) штыревой изолятор; б) подвесной изолятор.

Конструкция подвесного тарельчатого изолятора состоит из трех основных элементов:

- стеклянной или фарфоровой *изолирующей детали* в виде тела вращения с ребрами на нижней поверхности и с внутренней полостью конической или цилиндрической формы;
- *шапки* из ковкого чугуна, в верхней части которой имеется сферическая полость (гнездо), предназначенная для шарнирного сопряжения с другим изолятором;
- *стержня*, нижняя головка которого имеет сферическую поверхность, сопрягаемую с соответствующей поверхностью в гнезде шапки.

Прочное соединение металлических деталей подвесного изолятора с изолирующей деталью достигается за счет конической формы сопрягаемых частей шапки, изолирующей детали и верхней головки стержня, пространство между которыми заполняется цементным раствором (позиция 4 на рис. 2.2, б), обеспечивающим их прочное соединение.

Подвесные изоляторы собираются в *гирлянды* путем введения в сферическое гнездо шапки головки стержня смежного изолятора. Для предотвращения расцепления сферический шарнир изоляторов запирается замком М-образной или шплинтообразной формы (рис. 2.2.).

Количество изоляторов в поддерживающей гирлянде $n_{из}$ определяется в основном значением номинального напряжения линии, а также степенью загрязненности атмосферы, материалом опоры и типом изолятора. При использовании изоляторов марок ПС70-Б и ПФ70-В их число в поддерживающей гирлянде, ее длина с арматурой от траверсы до провода λ_r и масса гирлянды с арматурой m_r для ВЛ 35—330 кВ, сооружаемых на металлических и железобетонных опорах в районах с нормальными атмосферными условиями.

3. Линейная арматура. Линейная арматура объединяет устройства, обеспечивающие, во-первых, надежное *сочленение* отдельных элементов конструкции ВЛ, а также *защиту* гирлянд подвесных изоляторов (или ПИ) от повреждения электрической дугой при пробое и *фиксацию* взаимного

расположения в пространстве проводов расщепленных фаз и соседних фаз по отношению друг к другу. В табл. 2.1. представлены пять различающихся своим назначением основных групп элементов арматуры, а также их типы и модификации в каждой группе.

Таблица 2.1.

Классификация линейной арматуры		
Категория	Тип	Разновидности
Фиксирующая	Зажим поддерживающий	Глухой С проскальзыванием
	Зажим натяжной	Клиновой Болтовой Прессуемый
Сцепная	Элемент сопряжения	Скоба (гирлянда-опора) Серьга (скоба-изолятор) Ушко (изолятор-зажим) Коромысло (n гирлянд) Промежуточное звено Узел крепления к опоре
Защитная	Элемент защиты	Защитное кольцо Защитный овал Разрядные рога
Соединительная	Соединитель	Овальный Прессуемый
Дистанцирующая	Распорка	Металлическая Изолирующая

Фиксирующая арматура представлена двумя видами зажимов — поддерживающими и натяжными. *Поддерживающие зажимы* служат для крепления проводов на промежуточных опорах. Они состоят из лодочки, в которую укладывается провод, зажимных плашек и U-образных болтов,

закрепляющих провод в лодочке (рис. 2.3. *a*). В основном применяют два типа поддерживающих зажимов — глухие и с ограниченной прочностью заделки провода.

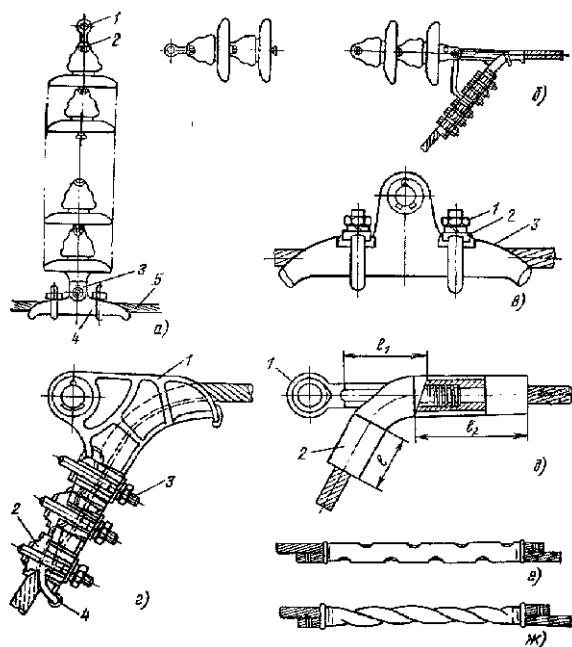


Рис. 2.3.

Глухие зажимы обеспечивают закрепление провода без его проскальзывания в любом режиме работы линии. При этом тяжение по проводу полностью передается на опору. Лодочка шарнирно связана с ушком, а оно, в свою очередь, — с нижним изолятором гирлянды.

Ограничение усилий, действующих на опору, достигается применением зажимов с ограниченной прочностью заделки провода. Конструктивно эти зажимы не отличаются от глухих, но затяжка плашек у них осуществляется таким образом, что при усилиях, превышающих заданную величину (7—9 кН), происходят проскальзывание провода в зажиме и соответствующая разгрузка опоры. Такие зажимы применяются на ВЛ напряжением 500 кВ и выше.

Натяжные зажимы служат для крепления проводов на анкерных опорах. Они сопрягаются с натяжными гирляндами изоляторов и воспринимают полные тяжения по проводам во всех режимах работы линии. По способу

закрепления провода они делятся на клиновые, болтовые и прессуемые. Наиболее простые по конструкции *клиновые зажимы* предназначены для крепления проводов (медных и алюминиевых) и стальных тросов сечением 16—95 мм^2 . Они состоят из чугунного или стального корпуса, в котором размещается провод (трос), и алюминиевого или латунного клина, который зажимает (самозаклинивает) провод (трос) под действием тяжения по нему.

Болтовые зажимы (рис 2.3, б) используются при монтаже проводов сечением 70—240 мм^2 . Такой зажим состоит из чугунного корпуса 1, в котором при помощи U-образных болтов 4 с плашками из алюминиевого сплава зажимается провод 3. На корпусе имеется проушина 2 для крепления зажима к гирлянде. Как клиновые, так и болтовые зажимы не требуют разрезания провода в месте закрепления при монтаже. Они используются главным образом на ВЛ с номинальным напряжением до 110 кВ включительно.

Прессуемые зажимы предназначены для монтажа сталеалюминиевых проводов с сечениями алюминиевой части 240 мм^2 и более, т.е. на ВЛ напряжением 220 кВ и выше. Они состоят из стального анкера 5 с проушиной, в который запрессовывается стальной сердечник провода со стороны пролета, и алюминиевого корпуса 1, в котором закрепляется алюминиевая часть провода 3. При этом требуется предварительное разрезание провода, что усложняет монтаж.

К категории *цепной арматуры* относятся:

- *скобы*, служащие для соединения гирлянды изоляторов с траверсой опоры;
- *серьги*, предназначенные для соединения скобы с шапкой верхнего изолятора гирлянды;
- *ушки*, осуществляющие сопряжение нижнего изолятора гирлянды с зажимом;
- *коромысла*, служащие для образования сдвоенных и строенных гирлянд;

- *промежуточные звенья*, используемые для удлинения гирлянд;
- *узлы крепления* гирлянд изоляторов к опорам.

К категории *защитной арматуры* относятся защитные кольца (ovalы) и разрядные рога. *Защитные кольца (ovalы)* устанавливаются в нижней части поддерживающих и натяжных гирлянд изоляторов и стержневых полимерных изоляторов ВЛ напряжением 500 кВ и выше. Они служат для отвода электрической дуги, возникающей при перекрытиях гирлянд, от поверхности последних, а также для улучшения равномерности распределения напряжения между изоляторами гирлянды. Верхние и нижние *разрядные рога* служат для создания искрового промежутка при изолированном креплении грозозащитных тросов на опорах ВЛ 220—500 кВ. Они устанавливаются на гирляндах, причем верхние рога закрепляются на серьгах, а нижние — на ушках.

Соединительная арматура служит для соединения двух *строительных* длин провода, т.е. его отрезков, каждый из которых умещается на одном транспортном барабане. Для проводов с сечениями до 240 мм^2 включительно используют *овальные соединители*, которые представляют собой трубку с развализованными краями из того же материала, что и провод, в которую с двух сторон вставляются соединяемые концы провода. Надежный электрический контакт и достаточная механическая прочность места соединения обеспечиваются при монтаже путем обжатия соединителя специальными клещами или прессом, либо путем скручивания вместе с проводом специальным приспособлением.

Для соединения стальалюминиевых проводов с сечениями 300 мм^2 и более, а также стальных тросов сечением 50—150 мм^2 и более применяют *прессуемые соединители*. Они состоят из двух элементов — алюминиевого корпуса, охватывающего внешнюю поверхность провода, и стальной трубки, в которую вставляются концы стального сердечника.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с конструкцией однопроволочных и многопроволочных проводов ВЛ электропередачи. Сделать эскизы.
2. Ознакомиться с различными типами изоляторов для крепления проводов ВЛ электропередачи, имеющихся в лаборатории. Записать их паспортные данные. Сделать эскизы.
3. Ознакомиться с различными типами линейной арматуры, имеющейся в лаборатории. Сделать эскизы.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Назначение воздушных ЛЭП и их основные составляющие.
3. Краткое описание назначения проводов, изоляторов и линейной арматуры.
4. Эскизы и данные лабораторного оборудования.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких основных элементов состоит ВЛ электропередачи?
2. Из каких материалов выполняются провода и тросы воздушных линий?
3. Как конструктивно выполняются провода ВЛ электропередачи?
4. Из каких материалов выполняются изоляторы?
5. Назначение разных типов изоляторов. Их конструкция, область применения.
6. Из каких конструктивных элементов состоит линейная арматура? Их назначение, область применения.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТОВ ОТ ВЕЛИЧИНЫ НАЖАТИЯ

Цель работы: изучение влияния силы нажатия на величину переходного контактного сопротивления

Краткие теоретические сведения

Электрическим контактом называется место соприкосновения двух проводников, позволяющее проводить электрический ток. Наличие контакта всегда приводит к появлению добавочного сопротивления, называемого переходным контактным сопротивлением. При протекании по контакту электрического тока в нем будет выделяться тепловая энергия, и поэтому контакт может нагреться до высокой температуры. С повышением температуры контакта увеличивается интенсивность образования на контактных поверхностях пленок окислов, которые в общем случае плохо проводят электрический ток. Переходное сопротивление контакта еще более возрастает. В конечном счете может произойти расплавление металла контакта и его сваривание.

Из этого можно сделать вывод, что величина переходного контактного сопротивления для определенной величины тока не должна превышать некоторого допустимого значения.

Выясним причину возникновения переходного сопротивления в контактах.

Контактные поверхности, как бы тщательно они не были защищены, представляют собой неровную поверхность с выступами и впадинами. По этой причине соприкосновение контактных поверхностей происходит не по всей поверхности, а лишь в отдельных точках. Вследствие этого происходит стягивание линий тока к точкам соприкосновения и повышение вблизи них плотности тока (рис. 3.1). Такое стягивание и является основной причиной возникновения переходного контактного сопротивления.

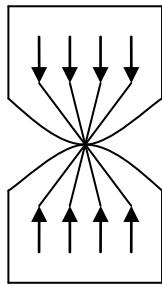


Рис 3.1. Возникновение переходного сопротивления контактов.

При сжатии контактов происходит деформация материала выступов, в результате увеличивается как количество точек соприкосновения, так и их суммарная площадь.

Общая площадь всех точек соприкосновения:

$$S_c = \frac{F}{\gamma_c}, \quad [m^2], \quad (3.1)$$

где F - сила сжатия контактных поверхностей, Н; γ_c - сопротивление материала сжатию, Н/м².

Из формулы (3.1) видно, что площадь соприкосновения не зависит от полной контактной поверхности, а определяется лишь силой сжатия и сопротивлением материала сжатию.

В связи с наличием на контактных поверхностях плёнок окислов, которые, как правило, плохо проводят электрический ток, действительная площадь, через которую протекает электрический ток, будет меньше, чем площадь соприкосновения.

Таким образом, электрический ток в месте соединения токоведущих частей протекает лишь в нескольких точках, количество которых определяется конструкцией контакта, силой сжатия и сопротивлением материала сжатию.

Для одноточечного контакта, если площадь соприкосновения представляет собой окружность, переходное сопротивление контакта будет:

$$R_k = \frac{\rho}{2a}, \quad (3.2)$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление материала контактов; a - радиус площади соприкосновения, м.

В случае пластической деформации точек соприкосновения:

$$a = \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot \gamma_c}}. \quad (3.3)$$

Подставив выражение (3.3) в (3.2), получим :

$$R_k = 0,5 \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot \gamma_c}{F}}. \quad (3.4)$$

Из выражения (3.4) видно, что чем меньше γ_c и ρ , тем меньше R_k .

Зависимость R_k от силы сжатия F носит гиперболический характер. Вначале при небольшом увеличении силы сжатия имеет место значительное уменьшение переходного контактного сопротивления, затем по мере увеличения F эта зависимость уменьшается и при больших усилиях можно считать, что R_k не зависит от силы сжатия.

Для контактов с неопределенным количеством точек соприкосновения переходное контактное сопротивление :

$$R_k = \frac{\varepsilon}{F^n}, \quad (3.5)$$

где ε - опытный коэффициент, зависящий от состояния контактных поверхностей;

n - учитывает количество точек соприкосновения; изменяется от 0,5 до 1.

Если принять $\varepsilon = 0,5 \cdot \rho \cdot \sqrt{\pi \cdot \gamma_c}$ и $n = 0,5$ для одноточечного контакта, то получим выражение (3.4).

Описание метода измерения контактного падения напряжения при помощи преобразователя Холла

Для измерения падения напряжения на полюсах выключателей переменного тока применяется метод, основанный на использовании преобразователя (датчика) Холла. Этот метод позволяет измерить мощность, выделяющуюся на контактах при переменном токе, и тем самым определить сопротивление этих контактов.

Схема измерительного устройства показана на рисунках 3.2 и 3.3. Датчик Холла (4) размещен в воздушном зазоре тороидального сердечника (6). Через отверстие в сердечнике пропущен один или несколько витков обтекаемых током исследуемого полюса выключателя. Ток управления датчика Холла I_u пропорционален напряжению U на исследуемом сопротивлении.

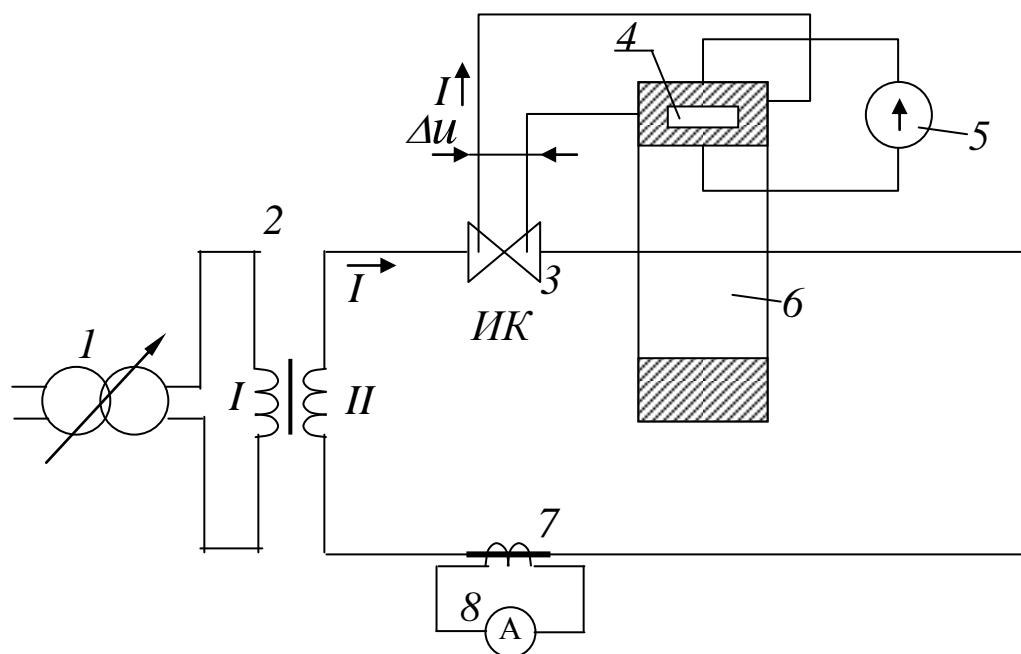


Рис. 3.2. Схема для измерения контактного падения напряжения при помощи преобразователя Холла

Напряжение датчика Холла при этом:

$$U_x = \Delta U \cdot I \cdot \cos \varphi - c_1 \cdot \Delta U \cdot I \cdot \cos (2\omega t - \varphi), \quad (3.6)$$

где c_1 – константа, получаемая опытным путем; I - ток через контакты; φ - фазовый угол между I и ΔU ; t – время.

Как вытекает из этого уравнения, постоянная составляющая напряжения Холла пропорциональна активной мощности, выделяющейся в исследуемом сопротивлении. Если использовать для измерения напряжения Холла магнитоэлектрический прибор, то его показания будут пропорциональны выделяющейся в контактах мощности. Недостаток метода состоит в большой температурной зависимости, из-за чего нужно вносить поправку 0.6% на 1°C , если температура отличается от 20°C .

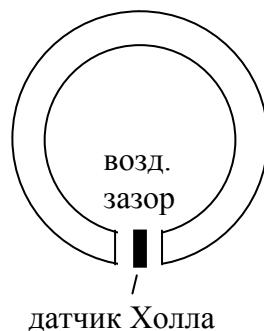


Рис. 3.3. Расположение датчика Холла

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Принципиальная схема установки для определения переходного контактного сопротивления показана на рис.3.4.

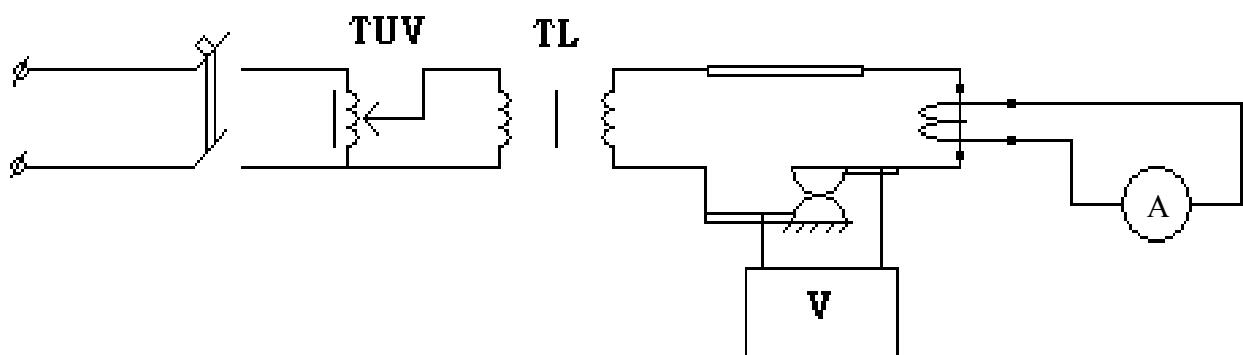


Рис 3.4. Схема для измерения контактного падения напряжения

Установка исследования контактов ИК представляет собой контактную систему с двумя точечными контактами. Усилие между контактами регулируется при помощи пружины. Каждый оборот рукоятки смещает пружину на 1,25 мм. Усилие на контакты пропорционально этому смещению. Сила нажатия определяется деформацией пружины в относительных единицах.

Величина тока, протекающего по исследуемому контакту ИК, регулируется с помощью лабораторного автотрансформатора ТУВ типа ЛАТР – 1 - 220 В - 9 А и измеряется амперметром А типа Э 377. Контактная система подключается через промежуточный или прогрузочный трансформатор ТЛ: $U_{\text{перв}} = 220 \text{ В}$, $U_{\text{втор}} = 1,5 \text{ В}$. Падение напряжения на контактах ИК подводится к милливольтметру переменного тока типа В3-28. Переходное сопротивление контакта определяется по закону Ома.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться со схемой установки для проведения испытаний.
2. Собрать схему установки.
3. Снять зависимость переходного контактного сопротивления в функции силы нажатия для контактов медь-медь:
 - а) создать при помощи винта начальную силу нажатия на контакт ($F = 0 \text{ о.е.}$);
 - б) включить питание (по разрешению преподавателя) и автотрансформатором ТУВ установить ток в цепи 60 (120 или 180) А. Снять показания милливольтметра;
 - в) увеличивая значения силы нажатия в контакте, снять показания милливольтметра и занести в таблицу 3.1. Силу нажатия устанавливать через 2 оборота рукояткой винта;
 - г) провести прямой и обратный ход измерений;
 - д) отключить питание установки. Зачистить мелкозернистой шкуркой контактные поверхности и провести все измерения заново.
4. Определить величину контактного сопротивления по формуле:

$$R_{\text{конт}} = \Delta U_{\text{ср}} / I \quad (3.7)$$

Полученные расчетным путем значения R_k записать в таблицу 3.1.

5. По полученным данным построить кривые $R_k=F$ для зачищенного и незачищенного контакта, совместив их в одной координатной системе.

Таблица 3.1. Результаты измерений.

$I = \text{const}; I = 120 \text{ A}$

F o.e.	Незачищенный контакт				Зачищенный контакт			
	$\Delta U_{\text{прям}}$ mV	$\Delta U_{\text{обр}}$ mV	$\Delta U_{\text{ср}}$ mV	$R_{\text{конт}}$ mOm	$\Delta U_{\text{прям}}$ mV	$\Delta U_{\text{обр}}$ mV	$\Delta U_{\text{ср}}$ mV	$R_{\text{конт}}$ mOm

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Принципиальная схема установки и ее описание.
3. Программа выполнения работы.
4. Таблица 3.1.
5. Графики зависимостей $R_k=F$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова причина возникновения переходного сопротивления контактов?
2. От чего зависит переходное сопротивление контактов?
3. Конструкции контактов, применяемые в электрических аппаратах.
4. Как рассчитать переходное сопротивление контактов?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРЕВА ПРОВОДНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ И ТЕПЛООТДАЧИ ШИН

Цель работы: исследование нагрева проводников электрическим током и теплоотдачи шин

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Одним из условий выбора электрических аппаратов и проводников является допустимый нагрев токоведущих частей в продолжительных режимах работы. ПУЭ установлены следующие длительно допустимые температуры нагрева проводников электрическим током:

- для проводов и окрашенных неизолированных шин.....70°C,
- для проводов и шнуров с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией65 °C,
- для кабелей до 10кВ с изоляцией из поливинилхлоридного пластика и полиэтилена70 °C,
- для кабелей до 10кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена ...90 °C,
- для кабелей с изоляцией из пропитанной кабельной бумаги напряжением:
 - до 1кВ..... 80°C,
 - 6кВ..... 65°C,
 - 10кВ 60°C,
 - 35кВ 50°C.

Расчетная температура окружающей среды для проводников и кабелей, проложенных на воздухе, принимается +25°C, а для кабелей, проложенных в земле, +15°C.

Определим допустимую по нагреву плотность тока в неизолированных проводниках, находящихся в воздухе.

Температура проводника:

$$v = v_o + \theta, \quad (4.1)$$

где v_o - температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

θ - превышение температуры проводника над температурой воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

В установившемся режиме вся выделяемая в проводнике мощность Φ рассеивается в окружающую среду лучеиспусканием $\Phi_{\text{л}}$ и конвекцией $\Phi_{\text{к}}$ т.е.

$$\Phi = \Phi_{\text{л}} + \Phi_{\text{к}} = I^2 r_a, \quad (4.2)$$

где $r_a = r K_n K_{\delta}$ - активное сопротивление проводника; $r = pl/S$;

$K_n = \phi(\sqrt{f/r})$ - коэффициент поверхностного эффекта;

K_{δ} - коэффициент близости.

Мощность, рассеиваемая лучеиспусканием,

$$\Phi_{\text{л}} = F_{\text{л}} q_{\text{л}} = F_{\text{л}} C \varepsilon (T^4 - T_o^4), \quad (4.3)$$

где $F_{\text{л}}$ - поверхность лучеиспускания, см^2 ;

$C = 5,7*10^{-12}$ - коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела, $\text{Вт}/(\text{см}^2 \text{град}^4)$;

T и T_o - соответственно температуры проводника и воздуха, K ;

$q_{\text{л}}$ - коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием, $\text{Вт}/\text{см}^2$;

ε - степень черноты лучеиспускающей поверхности.

В таблице 4.1 показана степень черноты лучеиспускающей поверхности

ε для различных материалов.

Мощность, рассеиваемая с помощью конвекции,

$$\Phi_{\text{к}} = F_{\text{к}} q_{\text{к}} = F_{\text{к}} * 1,81 * 10^{-4} \beta \theta^{1,25} \quad (4.4)$$

где $F_{\text{к}}$ - поверхность теплоотдачи конвекцией, см^2 ;

$q_{\text{к}}$ - коэффициент теплоотдачи конвекцией, $\text{Вт}/\text{см}^2$

β - коэффициент, зависящий от высоты теплоотдающей поверхности и определяемый экспериментально для проводников различных сечений и их пространственного расположения.

Таблица 4.1

Материал	Степень черноты лучеиспускающей поверхности ϵ
Абсолютно черное тело	1,0
Алюминий окисленный	0,11
Алюминий полированный	0,04
Эмалевая краска	0,6-0,8
Медь окисленная	0,72
Сталь окисленная	0,79
Черный лак	0,87

Предельной длительно допустимой температуре соответствует мощность Φ_{don} . Из (4.2) допустимый ток

$$I_{don} = \sqrt{\Phi_{don}/r_a} = \sqrt{(F_n C \epsilon (T^4 - T_o^4) + 1,81 * 10^{-4} F_k \beta \theta^{1,25})/r_a} \quad (4.5)$$

Для проводов: $F_n = F_k = F$,

$$K_n \approx 1, \quad K_o = 1.$$

При этом

$$I_{don} = \sqrt{F q \gamma S / l} = \sqrt{\pi d \gamma S q} \quad (4.6)$$

где $q = C \epsilon (T^4 - T_o^4) + 1,81 * 10^{-4} \beta \theta^{1,25}$;

d – диаметр провода.

Допустимая плотность тока по условиям нагрева

$$J = I_{don}/S = \sqrt{\pi d q \gamma / S} = \sqrt{4 q \gamma / d} \quad (4.7)$$

Если температура окружающего воздуха v_o отличается от номинальной $v_{o,nom} = 25^\circ\text{C}$, то из условия:

$$I_{don}/I_{don,nom} = \sqrt{\theta/\theta_{nom}} \quad (4.8)$$

следует, что

$$I_{don} = I_{don,nom} \sqrt{\theta/\theta_{nom}}, \quad (4.9)$$

где $\theta_{ном} = v_{don} - v_{o,ном} = 70 - 25 = 45^{\circ}\text{C}$ и $\theta = 70 - v_o$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Принципиальная схема установки для исследования нагрева проводников электрическим током и теплоотдачи шин приведена на рис.4.1.

Установка работает от сети переменного тока 220 В. Регулирование тока в цепи осуществляется с помощью лабораторного автотрансформатора ТУВ типа ЛАТР – 1 - 220 В - 9 А. Промежуточный или прогрузочный трансформатор ТЛ: $U_{перв} = 220 \text{ В}$, $U_{втор} = 1,5 \text{ В}$.

Исследуемые шины – алюминиевые сечением $11 \times 5,5 = 60 \text{ мм}^2$. Одна из шин – неокрашенная, а другая – окрашена черным лаком. На шинах приблизительно посередине имеются специальные лунки для опускания в них шарика термопары при измерении температуры шин. Шины закреплены с одной стороны на опорных изоляторах типа ИО – 10, а с другой стороны смонтированы на катушечном трансформаторе тока ТТ типа ТКЛ – 0.5 Т с коэффициентом трансформации $K_T = 300/5$. Величина тока в цепи контролируется амперметром А типа Э 377:

$$I_{ш} = I_A * K_T$$

Для исключения взаимодействия тепловых потоков шин через лучеиспускание между шинами устанавливается экран.

Измерение температуры шин осуществляется с помощью термопары Медь – Константан (Cu-Kn), подключенной к микровольтмикроамперметру $\mu\text{V}\mu\text{A}$ типа Ф – 116/1. Горячий конец термопары окрашен в красный цвет, холодный конец – в синий. При измерениях температуры шин холодный конец термопары необходимо опускать в сосуд с маслом и держать его там для неучета влияния окружающей среды.

Подготовка к работе.

Перед началом работы необходимо прогреть $\mu\text{V}\mu\text{A}$ в течение 15 мин. Снять прибор с арретира и перевести его на «0»; установить механический «0». После этого опустить горячий и холодный спай термопары в сосуд с маслом и проверить установку электрического нуля. Для коррекции нуля установить диапазон шкалы измерений микровольтметра μV на 1,5 μV .

При обесточенной установке превышение температуры шин над температурой окружающего воздуха равно нулю $\theta_{окр} = \theta_{неокр} = 0$; а температура шин равна температуре окружающей среды $v_{окр} = v_{неокр} = v_o$.

Для измерения превышения температуры шин над температурой воздуха при протекании по шинам электрического тока горячий спай вынимается из масла и устанавливается в лунку на шинах; удерживая его в течение 30-40 сек, снимают показания напряжения на μV . В соответствии с градуировочной кривой определяется превышение температуры шин над температурой окружающей среды.

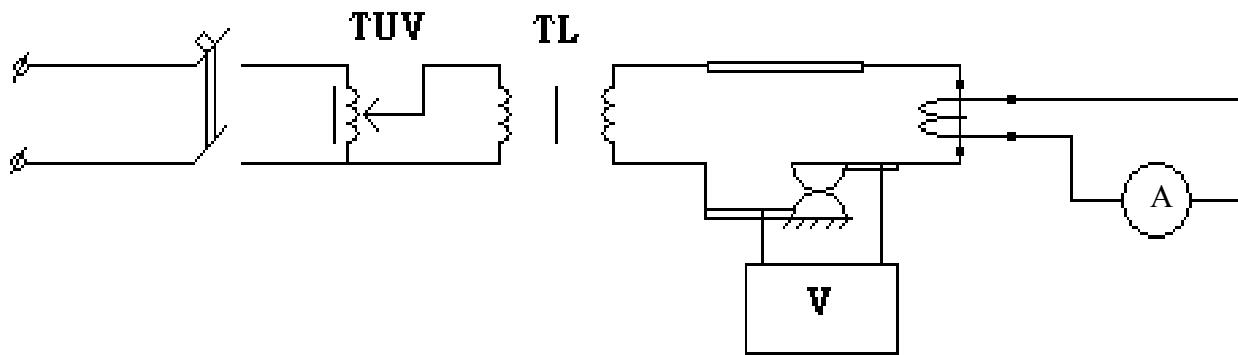


Рис 4.1. Схема установки для исследования нагрева проводников электрическим током и теплоотдачи шин.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться со схемой установки для проведения испытаний.
2. Измерить с помощью ртутного (или спиртового) термометра температуру окружающей среды.
3. Проверить градуировку термопары. Установить диапазон шкалы измерений микровольтметра μV на 75 или 150 μV . Измерить превышение температуры известного явления (температуры кипения

воды, температуры человека и др.) над температурой окружающего воздуха. Установить, что $1^{\circ}\text{C} = 10 \mu\text{V}$.

4. Для правильного измерения температуры шин необходимо в лунки на шинах капнуть немного минерального масла и шарик термопары опускать в лунку с маслом. Удерживая шарик термопары в лунке около 1 минуты, снять показания микровольтметра μV .
5. Изменяя с помощью АТ ток в цепи, снять зависимости $\theta = f(I)$ для окрашенной и неокрашенной шин при различных значениях тока. При увеличении показаний измерений переключать шкалу μV на следующий диапазон измерений. Результаты измерений занести в таблицу 4.2.
6. Вычислить действительные температуры $v = f(I)$ для окрашенной и неокрашенной шин при различных значениях тока.

Таблица 4.2.

№ изм.	$I, \text{ A}$	$U_{окр}, \text{ mV}$	$U_{неокр}, \text{ mV}$	$\theta_{окр}, {}^{\circ}\text{C}$	$\theta_{неокр}, {}^{\circ}\text{C}$	$v_{окр}, {}^{\circ}\text{C}$	$v_{неокр}, {}^{\circ}\text{C}$

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Краткое описание и схема установки.
3. Порядок проведения работы.
4. Результаты расчетов и проведенных измерений.
5. Графики зависимостей $\theta = f(I)$ и $v = f(I)$ для окрашенной и неокрашенной шин при различных значениях тока.
6. Выводы по проделанной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем лимитируется длительно допустимая температура проводников?
2. От чего зависит теплоотдача с поверхности нагретого тела в окружающую среду?
3. Как производится градуировка термопары?
4. Для какой шины (окрашенной или неокрашенной) лучше теплоотдача и почему?
5. Как определяется сечение проводника по допустимой температуре?

Лабораторная работа № 5

ПРОВЕРКА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: получение навыков в определении основных параметров силовых трансформаторов

ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток трансформатора.
2. Определение влажности изоляции обмоток трансформатора отношением $R_{60''} / R_{15''} = K_{ab}$ (K_{ab} – коэффициент абсорбции).
3. Измерение сопротивления постоянному току обмоток трансформатора.
4. Измерение коэффициента трансформации на всех ответвлениях.
5. Определение группы соединения трехфазных трансформаторов.

ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТЫ

1. Осмотреть трансформатор. Записать паспорт.
2. Замерить сопротивление изоляции каждой обмотки по отношению корпуса и других обмоток. Замер проводить меггером 2500 В в течение 1 минуты. Определить коэффициент абсорбции.
3. Измерить сопротивление постоянному току обмоток трансформатора. Замер производить мостом Витстона на всех отпайках обмоток высшего и низшего напряжения. Начертить схему соединения обмоток трансформатора с обозначением выводов.
4. Измерить коэффициент трансформации трансформатора на разных ответвлениях. Для этого собрать схему рис.1. Напряжение 380 В подавать только на высокую сторону трансформатора и производить замеры напряжения одновременно с высокой и низкой сторон.

Результаты измерений занести в таблицу.

Таблица 5.1.

Тип трансформатора	A – B			B – C			A – C			$K = \frac{K_{ab} + K_{bc} + K_{ac}}{3}$
	U_{AB}	U_{ab}	K_{ab}	U_{BC}	U_{bc}	K_{bc}	U_{AC}	U_{ac}	K_{ac}	

Опыт проводить с полным соблюдением правил техники безопасности.

ВНИМАНИЕ! При случайной подаче напряжения 380 В на низкую сторону на высокой стороне трансформатора возникает опасное напряжение.

5. Проверка группы соединения трехфазных трансформаторов.

Проверка группы соединения трехфазных трансформаторов проводится двумя методами: 1- метод поляромера; 2- метод вольтметра. Ниже приводится описание проверки группы соединения трехфазных трансформаторов методом вольтметра.

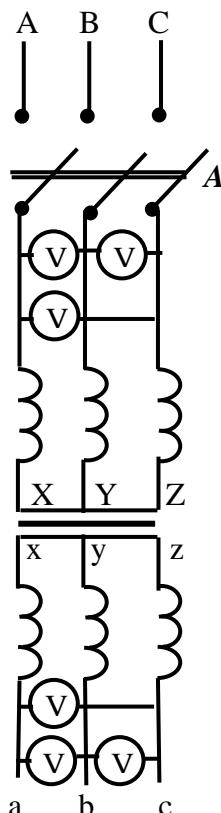


Рис. 5.1. Схема соединения обмоток трансформатора Y/Y.

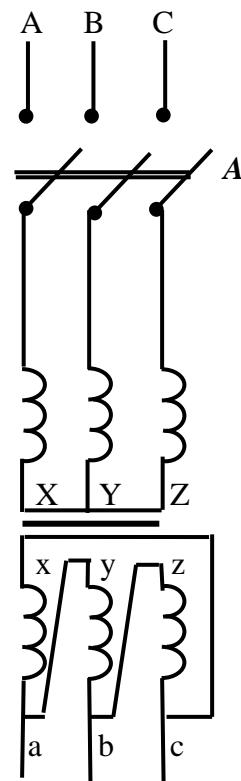


Рис. 5.2. Схема соединения обмоток трансформатора Y/Δ.

К зажимам АВ высшего напряжения трансформатора подключается батарея 2-4 В. К зажимам ab, bc низшего напряжение попеременно подключается милливольтметр и записываются знаки отклонения прибора. Опыт повторяется с подключением батареи к зажимам ВС и АС. Измерения сводятся в таблицу. Отклонение стрелки гальванометра при подключении батареи вправо обозначается знаком плюс. Отклонение стрелки гальванометра при подключении батареи влево – знаком минус.

Каждой группе соединения обмоток соответствует таблица (рис. 5.3).

Y/Y – 12				Y/Δ – 11				Y/Y – 6			
	AB	BC	AC		AB	BC	AC		AB	BC	AC
ав	+	-	+	ав	+	-	0	ав	-	+	-
bc	-	+	+	bc	0	+	+	bc	+	-	-

Y/Δ – 1				Y/Δ – 5				Y/Δ – 7			
	AB	BC	AC		AB	BC	AC		AB	BC	AC
ав	+	0	+	ав	-	+	0	ав	-	0	-
bc	-	+	0	bc	0	-	-	bc	+	-	0

Рис.5.3. Таблицы для определения группы соединения трансформатора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что означает группа соединения силового трансформатора?
2. Какие существуют системы охлаждения силовых трансформаторов?
3. Как производится регулирование напряжения на трансформаторах?

4. Какие измерения проводятся при испытаниях силовых трансформаторов?
5. Что такое коэффициент абсорбции?
6. Как определяется группа соединений трехфазных трансформаторов?

Векторные диаграммы трансформаторов:

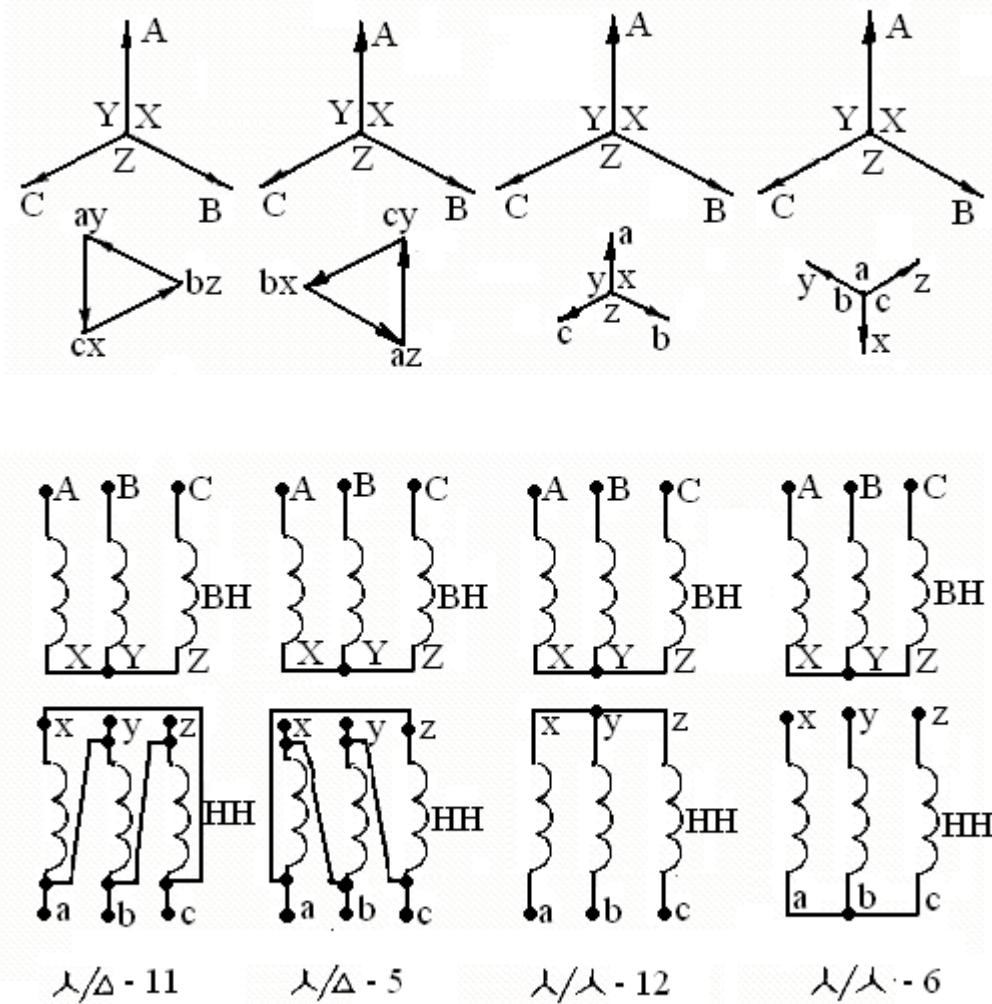


Рис.5.4. Схемы соединений трансформаторов.

Лабораторная работа № 6

НИЗКОВОЛЬТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Цель работы: изучение и проверка магнитного пускателя и автомата

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

К низковольтным коммутационным аппаратам относятся:

1. **Рубильник** – простой аппарат ручного управления не имеющий защит.
2. **Контактор** – аппарат дистанционного управления не имеющий защит.
3. **Магнитный пускатель** – аппарат, предназначенный для включения и отключения асинхронных двигателей. Магнитный пускатель имеет дистанционное управление и тепловую защиту (тепловое реле) работающую при перегрузке.
4. **Автоматический выключатель (автомат)** – представляет собой выключатель переменного или постоянного тока с встроенным в него токовым реле прямого действия и катушкой минимального напряжения, действующих на расцепитель. Токовые реле автомата работают при перегрузках и коротких замыканиях. Существуют разные конструкции автоматов. Они выполняются от 5 до 4000 А.

Контакторы, магнитные пускатели и автоматы снабжены гасительными камерами, предназначенными для гашения электрической дуги, возникающей при отключении аппарата.

ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Познакомиться с конструкцией магнитного пускателя и автомата.
2. Измерить сопротивление изоляции токоведущих частей магнитного пускателя.
3. Проверка катушки магнитного пускателя.
 - 3.1 Замерить сопротивление изоляции катушки.

3.2 Замерить омическое сопротивление катушки.

3.3 Замерить напряжение срабатывания и возврата катушки.

Следует помнить, что при снижении напряжения сети магнитный пускатель отключится вследствие возврата магнитной и контактной системы, что является защитой двигателя от понижения напряжения.

4. Проверить тепловое реле и снять его характеристику.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Осмотреть аппарат и убедиться в отсутствии внешних неисправностей. Ознакомиться с конструкцией магнитного пускателя и автомата. Записать паспортные данные.
2. Ознакомиться со схемой стенда.
3. замерить сопротивление изоляции подвижных и неподвижных контактов магнитного пускателя мегомметром 1000 В.

Фаза А.

$R_{из}$ (подв.контр.-корпус)=...

$R_{из}$ (неподв.конт.-корпус)=...

$R_{из}$ (неподв.конт.-подв.конт.)=...

Аналогично для фазы “В” и фазы “С” и между фазами.

4. Проверить катушку магнитного пускателя.

4.1 Замерить сопротивление изоляции катушки мегомметром 1000 В.

$R_{из}$ (катушка-корпус)=...

4.2 Замерить омическое сопротивление катушки мостом Витстона

$R_k = ...$

4.3 Замерить напряжение срабатывания $U_{ср}$ и напряжения возврата U_b катушки пользуясь схемой стенда.

Опыт проводить в следующей последовательности:

4.3.1 Ключ КЛ в положении отключено. На стенде включить автомат АВ.

Наличие напряжения контролируется по лампе Л1.ЛАТР Выведен (стоит в положении минимального напряжения).

4.3.2 Включить ключ КЛ в положение 1.

4.3.3 ЛАТРом поднимать напряжение до срабатывания катушки (до включения магнитного пускателя). Замерить показание вольтметра. Это напряжение будет соответствовать напряжению срабатывания катушки $U_{ср}$.

4.3.4 Снижая ЛАТРом напряжение замерить по вольтметру напряжение возврата катушки U_b (размыкание контактов магнитного пускателя).

Во время опыта при движении рукоятку ЛАТРа не задерживать.

5. Проверить тепловое реле.

Тепловое реле ТР является элементом защиты от перегрузки в магнитных пускателях. Конструктивно тепловое реле состоит из сменного нагревательного элемента биметаллической пластинки механически связанной с защелкой и нормально замкнутых контактов К1.

При нагревании биметаллической пластинки она изгибается и расцепляет защелку. Защелка под действием пружины отходит в сторону и размыкает блокконтакты. При этом катушка магнитного пускателя теряет питание и магнитный пускатель отключается. Возврат реле с помощью кнопки возврата возможен только после остывания биметаллической пластинки.

Регулировка реле производится путем подбора нагревательного элемента по току защищаемой цепи и изменением сцепления биметаллической пластинки с защелкой путем поворота регулятора, расположенного на лицевой стороне реле.

5.1 Ознакомиться с конструкцией теплового реле выставить реле в среднее положение.

5.2 Собрать схему испытания. Ключ КЛ должен находиться в положении «**ОТКЛ**».

5.3 Включить автомат АВ. На наличие напряжения указывает лампа Л1.

Рукоятка ЛАТРа должна стоять в положении минимального напряжения, Ключ П должен находиться в положении откл. При этом тепловое реле зашунтировано и секундомер не включен.

5.4 Включить ключ КЛ в положение « при этом магнитный пускатель включается».

5.5 С помощью ЛАТРа увеличивая напряжение на трансформаторе ПТ регулируем ток в цепи теплового реле до необходимой величины. Величина тока замеряется по амперметру.

5.6 Повернув ключ П в положение включено производим расшунтирование теплового реле и включение секундометра. При срабатывании теплового реле магнитный пускатель отключается, и его контакты разрывают цепь питания секундометра. Секундомер останавливается, фиксируя время срабатывания теплового реле при выставленном значении тока.

5.7 Определить время срабатывания теплового реле по секундомеру при токах 30, 35, 40 А.

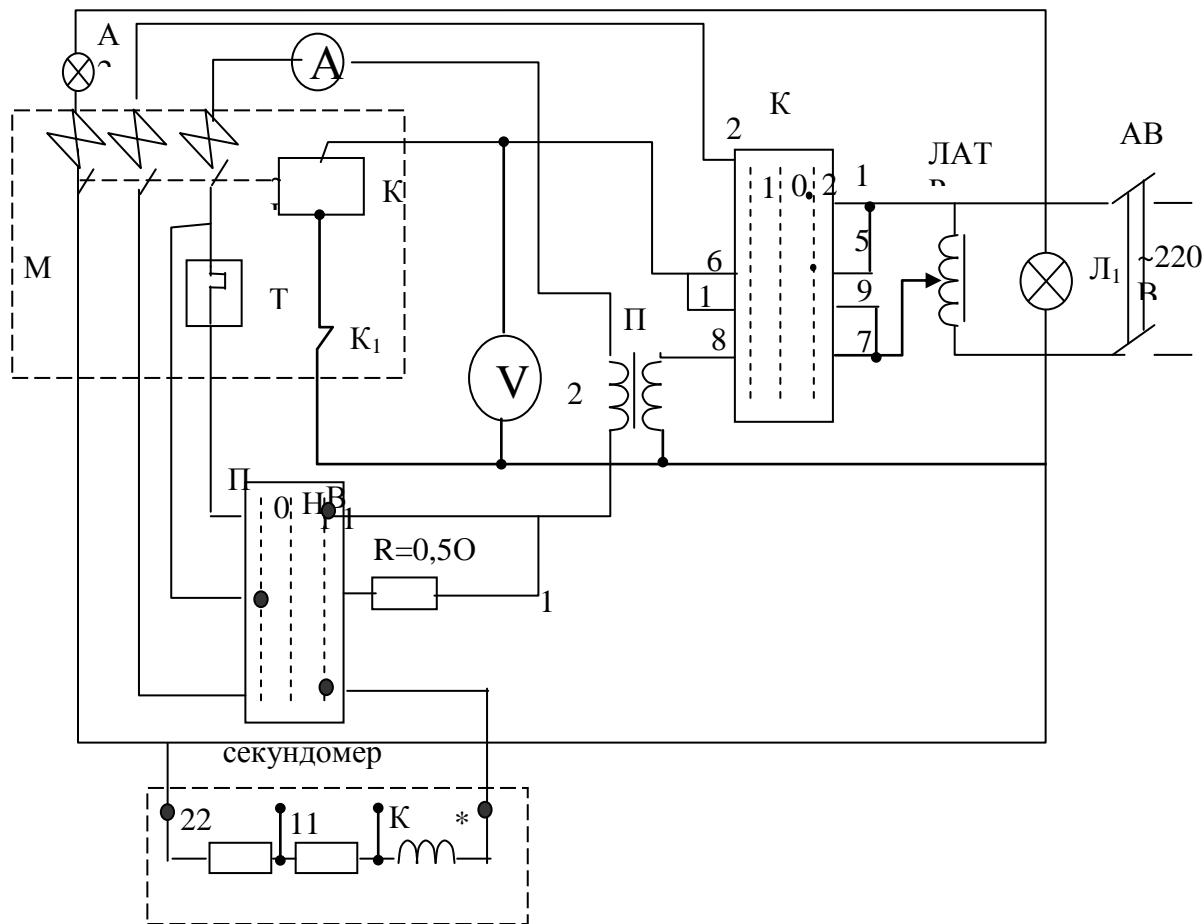


Рис. 6.1. Схема испытания магнитного пускателя

5.8 Проделать те же измерения, но при 2-х крайних положениях регулятора теплового реле. Данные занести в таблицу 6.1.

5.9 По полученным данным построить графики и определить мощность двигателя, который может защитить нагревательный элемент, считая, что реле должно сработать при 20 % перегрузке двигателя. Напряжение двигателя принять 380 В, $\text{Cos } \varphi = 0,8$. Мощность двигателя равна:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Таблица 6.1.

I, A		30	35	40
t, с при положении теплового реле	Среднем			
	Максимальном			
	Минимальном			

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Здесь должны быть определены цель работы, представлены схема и результаты испытаний, графики.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие коммутационные аппараты относятся к низковольтным?
2. Назначение и конструкция магнитного пускателя.
3. Как действует и для чего предназначено тепловое реле магнитного пускателя?
4. Как осуществляется регулировка теплового реле магнитного пускателя?

7 – тажриба иши

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСЧЕТА НОРМАЛНОГО РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ЭВМ

Цель работы: 1. Изучение подготовки исходных данных для расчета нормального режима электрической сети на ЭВМ.

2. Исследование расчета нормального режима электрической сети на ЭВМ и анализ результатов расчета.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Расчет нормального режима электрической сети предусматривает определения всех режимных параметров электрической сети при заданных схемы замещения, расчетных параметрах (сопротивлений, проводимостей, коэффициентов трансформаций трансформаторов, а иногда, потери холостого хода трансформаторов) и части из режимных параметров.

Таким образом, для расчета нормальных режимов электрических сетей следует, сначала, построить их расчетные схемы замещения и определить все расчетные параметры.

Построение расчетной схемы замещения электрической сети осуществляется на основе использования следующих данных для составляющих её элементов:

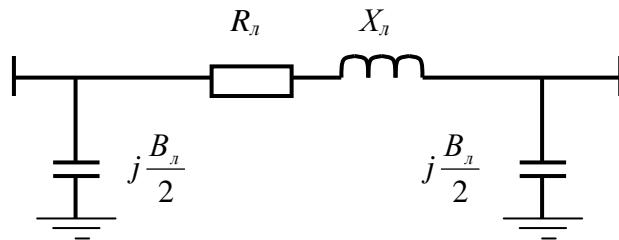
- длины линий электропередач (ЛЭП) и марка использованных проводов (или удельные расчетные параметры ЛЭП);
- типы и коэффициенты трансформации трансформаторов и автотрансформаторов;
- активные мощности и коэффициенты активной мощности (или реактивные мощности) узлов (для нагрузочных узлов с заданными мощностями);
- активные и реактивные сопротивления узлов (для нагрузочных узлов с заданными сопротивлениями)

- для всех генераторных узлов (кроме одной – балансирующей) – активные и реактивные мощности (или активные мощности и модули напряжений);
- напряжение одного (опорного) узла.

Построение расчетной схемы замещения электрической сети и определение её расчетных параметров

Схема замещения электрической сети состоит из схем замещения составляющих её элементов (ЛЭП, трансформаторов, автотрансформаторов и т.п.).

Схемы замещения ЛЭП номинальным напряжением 110, 220 кВ представляется в следующем П-образном виде:

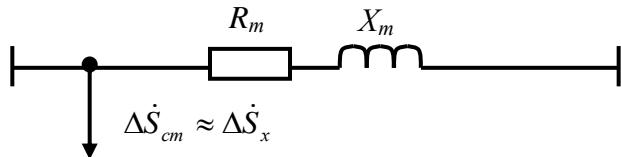


В этой схеме R_l , X_l – активное и реактивное сопротивления ЛЭП; B_l – емкостная проводимость ЛЭП; R_l , X_l , B_l являются расчетными параметрами схемы замещения ЛЭП. Значения этих параметров для конкретной ЛЭП находятся по её длине и удельным расчетным параметрам r_0 , x_0 , b_0 как

$$R_l = r_0 l; \quad X_l = x_0 l; \quad B_l = b_0 l.$$

Значения удельных параметров r_0 , x_0 , b_0 можно брат из справочника по марке провода и номинальному напряжению ЛЭП или найти по формуле на основе использования материала провода и геометрических размеров провода и линии.

Схема замещения двухобмоточного трансформатора с номинальным напряжением сети на стороне высшей обмотки 110, 220 кВ представляется в следующем Г-образном виде:



Здесь R_m , X_m – активное и реактивное сопротивления трансформатора; ΔS_{cm} – Потери полной мощности в сердечнике (изготавливаемый, обычно, из стали); ΔS_x – потери полной мощности в режиме холостого хода трансформатора.

В нормальном режиме работы трансформатора выполняется условие $\Delta S_{cm} \approx \Delta S_x$. При этом

$$\Delta S_{cm} = \Delta P_{cm} + j \Delta Q_{cm},$$

$$\Delta S_x = \Delta P_x + j \Delta Q_x,$$

R_m , X_m , ΔS_{cm} (ΔS_x) являются расчетными параметрами схемы замещения двухобмоточного трансформатора. Их значения для конкретных типов силовых трансформаторов вычисляются по формулам на основе использования каталожных (паспортных) данным, приводимых в справочниках.

К каталожным данным двухобмоточных трансформаторов входят следующие параметры:

Номинальная мощность трансформатора – S_{nom} [MVA];

Номинальные напряжения обмоток трансформатора – U_{BH} , U_{HH} [кВ];

Напряжение короткого замыкания трансформатора – u_s [% от U_{BH}];

Потери короткого замыкания трансформатора – ΔP_k [кВт];

Потери холостого хода трансформатора – ΔP_x [кВт];

Потери холостого хода трансформатора – I_x [% от I_{BH}].

$$\Delta P_{ct} \approx \Delta P_x; \quad \Delta Q_{ct} \approx \Delta Q_x = \frac{I_x \%}{100} \cdot S_{nom};$$

$$R_T = \frac{\Delta P_k U_{BH}^2}{S_{nom}^2}; \quad X_T = \frac{u_k \% \cdot U_{BH}^2}{100 S_{nom}}.$$

Для расчета режима электрической сети, сначала, в нагрузочных узлах с заданными активными мощностями P и коэффициентами активных мощностей $\cos\varphi$ реактивная мощность находится по следующей формуле:

$$Q = P \operatorname{tg} \varphi \quad \text{или} \quad Q = P \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}.$$

Подготовка исходных данных для расчета нормальных режимов электрических сетей на ЭВМ

После построения схемы замещения электрической сети и определения её расчетных параметров, для расчета режима электрической сети на ЭВМ, сначала, все узлы нумеруются. Затем формируются исходные данные в следующим виде:

$$N_{узел.} = ; \quad M_{ветвь.} = ; \quad U_{БУ.} = \kappa B; \quad \varepsilon = .$$

Таблица 7.1

№ ветви	Начало ветви - i	Конец ветви - j	R _{ij} , Ом	X _{ij} , Ом	K' _{T_i}	K'' _{T_{ij}}	B _{cij} , См

Таблица 7.2

№ узла	P_i , МВт	Q_i , МВАР	$U_i^{(0)}$, кВ	$\delta_i^{(0)}$ рад.	B_i См

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

- Строится схема замещения электрической сети и находится её расчетные параметры.
- Осуществляется нумерация узлов электрической сети и формировка исходных данных в вышеописанном табличном виде (табл.7.1, 7.2).
- Исходные данные вводятся в ЭВМ и выполняется расчет нормального режима электрической сети по специальной программе.
- Результаты расчета на ЭВМ заносится в таблицы 7.3 и 7.4.

Таблица 7.3

Узел	Напряжение		Нагрузка	
	U, кВ	δ , гр	P, МВт	Q, МВА

Таблица 7.4

Ветвь	Начало ветви, i	Конец ветви, j	P_{ij} , МВт	Q_{ij} , МВА	P_{ji} , МВт	Q_{ji} , МВА

Общие потери полной мощности: $\Delta S = \dots$ *MVA.*

Примечание: Исходные данные для принципиальной схемы электрической сети и составляющих её элементов берется из табл.7.5 в соответствии с вариантом, заданным преподавателем. При этом номер варианта определяется двухзначной цифрой, первый из которых означает номер схемы, а второй номер варианта напряжения балансирующего узла, мощности нагрузки, длины ЛЭП, марки провода ЛЭП и типа двухобмоточного трансформатора.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В отчета по лабораторной работе должны быть приведены следующие:

- 1) Название и цель лабораторной работы.
- 2) Принципиальная схема заданной электрической сети и исходные данные для составляющих её элементов (длины ЛЭП, марка проводов ЛЭП, удельные расчетные параметры, типы и каталожные данные трансформаторов, данные о нагрузочных и генераторных узлах).
- 3) Расчетные схемы замещения элементов электрической сети и формулы для определения их расчетных параметров.
- 4) Схема замещения электрической сети и её расчетные параметры (в конкретные значения).
- 5) Исходные данные, вводимые в ЭВМ, для расчета нормального режима электрической сети (табл.7.1, 7.2).

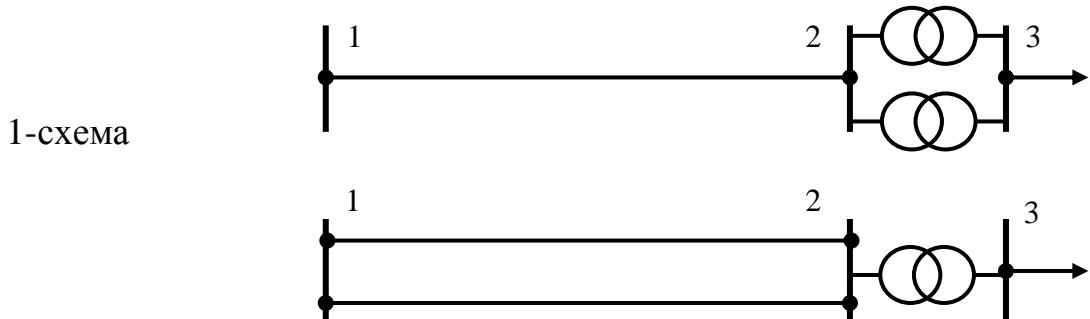
- 6) Результаты расчета нормального режима электрической сети на ЭВМ (табл.7.3, 7.4).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Что Вы понимаете под расчетом нормального режима электрической сети?
- 2) Что такой схема замещения электрической сети?
- 3) Что является результатом расчета нормального режима электрической сети.
- 4) Какова схема замещения ЛЭП и трансформаторов? Как находится расчетные параметры схемы замещения ЛЭП и трансформаторов?
- 5) Осуществляете анализ результата расчета нормального режима электрической сети.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Варианты исходных данных



2-схема

3-схема

4-схема

Таблица 7.5

Вариант	U ₁ , кВ	Нагрузка		Длина ЛЭП, км	Марка проводка ЛЭП	Тип трансформатора
		P ₃ , МВт	Q ₃ , МВАР			
1	230	60	25	60	AC-300	ТРДН-63000/220
2	225	50	30	55	AC-240	ТРДН-32000/220
3	220	55	20	50	AC-300	ТРДН-63000/220
4	120	40	20	35	AC-240	ТРДН-40000/110
5	115	30	15	30	AC-185	ТРДН-25000/110
6	110	35	15	25	AC-185	ТРДН-40000/110

Таблица 7.6

Удельные расчетные параметры ЛЭП с проводами различных марок

Марка провода	r ₀ , Ом/км	x ₀ , Ом/км		b ₀ , Сим/км	
		110 кВ	220 кВ	110 кВ	220 кВ
AC-185	0,16	0,41	-	0,00000275	-
AC-240	0,12	0,40	0,435	0,00000281	0,0000026
AC-300	0,1	-	0,43	-	0,00000264

Таблица 7.7

Каталожные данные трансформаторов

Трансформатор	$S_{\text{ном}}$	$U_{\text{ЮР}}$	$U_{\text{ШК}}$	$u_{\text{к}}$	ΔP_{S}	ΔP_{C}	I_{C}	
типы	МВА	кВ	кВ	%	кВт	кВт	%	
ТРДН-25000/110	25	115	10,5	10,5	120	20	0,7	
ТРДН-40000/110	40	115	10,5	10,5	172	36	0,65	
ТРДЦН-32000/220	32	230	6,6	12	167	53	0,9	
ТРДЦН-63000/220	63	230	11	12	300	80	0,8	

ЛИТЕРАТУРА

1. Веников В.А. и др. Энергетика в современном мире. М.: Знание. 1986.
2. Неклепаев В.Н. Электрическая часть станций и подстанций. М.: Энергоатомиздат. 1986.
3. Электротехнический справочник: Т. 3, Кн. 1. Производство и распределение электрической энергии./ Под общ. ред. профессоров МЭИ. – М.: Энергоатомиздат, 2004, 880 с.
4. Конспект лекций по курсу «Производство, передача и распределение электроэнергии» - Ташкент: ТашГТУ, 1999.
5. “Электр энергияни ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш” курсидан маъruzалар матни./Тузувчи: Гойибов Т.Ш..Ташкент. 1999.
6. Гойибов Т.Ш. Электр тармоқлари ва тизимлари. Мисол ва масалалар төслами./Ўқув қўлланма. – Т.: ТошДТУ, 2006

7. Гидроэнергетика./Под редакцией В.И.Обрезкова .М., Энергоатомиздат, 1989.
8. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях: Под ред. В.А. Строева. М.: Высшая школа, 1999.
9. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. М.: Энергоатомиздат. 1989.
- 10.Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. М.: Энергия. 1986.