

Белорусский национальный технический университет

Факультет энергетический
Кафедра “Электрические системы”

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

_____ М.И. Фурсанов

“ _____ ” _____ 2016

СОГЛАСОВАНО

Декан энергетического факультета

_____ К.В. Доброго

“ _____ ” _____ 2016

ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

для специальности 1-43 01 02 “Электроэнергетические системы и сети”

Составитель: Секацкий Д.А.

Рассмотрено и утверждено

на заседании энергетического факультета _____ 2016 г.,

протокол №

Оглавление

1	ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	4
1.	Введение. Организация наладочно-испытательных работ.....	4
2.	Охрана труда и обеспечения безопасности наладочно-испытательных работ.....	5
3.	Общие принципы выполнения дефектоскопии электрооборудования. Методы обнаружения дефектов электрооборудования.....	10
4.	Оценка состояния механической части электрооборудования.....	11
2	ОСНОВЫ ПУСКО-НАЛАДКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	13
1.	Общие сведения об электрических подстанциях.....	13
2.	Силовые трансформаторы.....	31
3.	Выключатели.....	37
4.	Разъединители и отделители.....	39
5.	Конденсаторные батареи.....	40
6.	Аккумуляторные батареи.....	42
7.	Силовые кабели.....	44
8.	Шины.....	45
9.	Измерительные трансформаторы.....	46
10.	Релейная защита и автоматика.....	50
11.	Устройства защитного отключения.....	53
3	ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	58
1.	ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 – ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МАГНИТОПРОВОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ.....	59
	Цель работы:.....	59
	Краткие теоретические сведения.....	59
	Задание на подготовительную работу.....	60
	Порядок выполнения работы.....	60
	Содержание отчета.....	62
	Контрольные вопросы.....	62
2.	ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 – НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДО 1000 В.....	63
	Цель работы:.....	63
	Краткие теоретические сведения.....	63
	Задание на подготовительную работу.....	65
	Последовательность выполнения работы.....	65
	Протокол испытаний и измерений.....	67
	Содержание отчета.....	67
	Контрольные вопросы.....	67
3.	ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 – ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ.....	68

Цель работы:	68
Краткие теоретические сведения	68
Задание на подготовительную работу	70
Порядок выполнения работы	70
ПРОТОКОЛ №__	70
Содержание отчета	70
Контрольные вопросы	71
4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 – ИСПЫТАНИЕ СИЛОВЫХ КОСИНУСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ	72
Цель работы:	72
Основные теоретические сведения	72
Задание на подготовительную работу	74
Порядок выполнения работы	74
Содержание отчета	74
Контрольные вопросы	74
4 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	75

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1. Введение. Организация наладочно-испытательных работ

Современное развитие электроэнергетики характеризуется ростом электропотребления, что связано с развитием промышленности, жилого и бытового сектора народного хозяйства. При этом возрастает количество устанавливаемого оборудования, постройка новых модернизированных трансформаторных подстанций, задачей которых является бесперебойная и надежная передача электроэнергии потребителям. Данное условие в немалой мере зависит от правильности проведенных пуско-наладочных работ.

Наладочные работы занимают важнейшее место в эксплуатации электрооборудования, где являются завершающим в общем комплексе строительства и монтажа электроэнергетических объектов и электроустановок. От того, насколько они правильно организованы, зависит своевременность обеспечения электроэнергией объекта, где проводится наладка, а от качества наладки - надежность и эффективность вновь смонтированного электрооборудования. Объем и номенклатура наладочных работ определяются технологическими условиями работы электрооборудования и требованиями директивных документов, в частности, техническим кодексом установившейся практики [1].

Наладочные работы, как правило, специализированы, т.е. ведутся самостоятельными наладочными организациями, укомплектованными высококвалифицированными кадрами инженеров и техников и оснащенными парком необходимых приборов и испытательной аппаратуры.

Испытательно-наладочные работы производятся в период изготовления электрооборудования – заводские типовые и контрольные испытания, в процессе монтажа – приемосдаточные испытания и наладка, в процессе эксплуатации – профилактические измерения и испытания.

Наладочные работы состоят из следующих основных этапов:

- 1) анализ проектов, исправление принципиальных и монтажных схем до начала монтажа с целью исключения монтажных переделок в процессе наладки.
- 2) проверка и испытания электрооборудования в процессе монтажа.
- 3) проверка и настройка реле, приборов и аппаратуры вторичных устройств.
- 4) проверка правильности монтажа первичных и вторичных соединений.
- 5) поузловое опробование оборудования и вторичных устройств.
- 6) комплексное опробование, пусковые испытания и включение электрооборудования в работу.
- 7) оформление и сдача эксплуатации технической документации (схем, протоколов проверок и испытаний, технических отчетов).

Все измерения, испытания и опробования в соответствии с действующими документами, инструкциями заводов-изготовителей, ТКП, произведенные монтажным персоналом в процессе монтажа, наладочным персоналом перед вводом электрооборудования в эксплуатацию, должно быть оформлены актами и протоколами.

Заключение о пригодности электрооборудования к эксплуатации делается на основании рассмотрения результатов всех проверок и испытаний, относящихся к данной единице оборудования.

2. Охрана труда и обеспечения безопасности наладочно-испытательных работ

Для обеспечения безопасного производства работ в электроустановках со снятием напряжения выполняются в указанном порядке следующие технические мероприятия:

- 1) произведены необходимые отключения;
- 2) приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- 3) вывешены запрещающие плакаты на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов;
- 4) проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые заземлены;
- 5) установлено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);
- 6) вывешены указательные плакаты «ЗАЗЕМЛЕНО»;
- 7) ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части и вывешены плакаты безопасности.

При подготовке рабочего места на токоведущих частях со снятием напряжения отключаются:

- 1) токоведущие части, на которых будут производиться работы;
- 2) неогражденные токоведущие части, к которым возможно случайное приближение людей, грузоподъемных машин и механизмов на расстояние менее допустимого.
- 3) цепи управления и питания приводов.

В электроустановках напряжением выше 1000 В с каждой стороны, откуда коммутационным аппаратом может быть подано напряжение на рабочее место, создается видимый разрыв, который создается отключением разъединителей, выкатыванием тележки с выключателем из шкафа КРУ, снятием предохранителей, отключением отделителей и выключателей нагрузки, за исключением выключателей нагрузки, у которых автоматическое включение осуществляется пружинами, установленными на самих аппаратах, отсоединением проводов, кабелей и шин.

После отключения разъединителей, отделителей и выключателей нагрузки с ручным управлением необходимо визуально убедиться в их отключенном положении и отсутствии шунтирующих перемычек.

В электроустановках напряжением выше 1000 В для предотвращения ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов, которыми может быть подано напряжение к месту работы, принимаются следующие меры:

- 1) у разъединителей, отделителей, выключателей нагрузки ручные приводы в отключенном положении заперты на механический замок;
- 2) у разъединителей, управляемых оперативной штангой, стационарные ограждения заперты на замок;
- 3) у приводов коммутационных аппаратов, имеющих дистанционное управление, отключены силовые цепи и цепи управления;
- 4) у грузовых и пружинных приводов включающий груз или включающие пружины приведены в нерабочее положение;

Отключенное положение коммутационных аппаратов напряжением до 1000 В с недоступными для осмотра контактами (автоматы невыкатного типа, пакетные выключатели, рубильники в закрытом исполнении и т.п.) определяется проверкой отсутствия напряжения на их зажимах либо на отходящих шинах, проводах или зажимах оборудования, включаемого этими коммутационными аппаратами.

Проверять отсутствие напряжения необходимо указателем напряжения, исправность которого перед применением устанавливается с помощью предназначенных для этой цели специальных приборов или приближением к токоведущим частям, заведомо находящимся под напряжением.

В электроустановках напряжением выше 1000 В пользоваться указателем напряжения необходимо в электроизолирующих перчатках совместно со средствами защиты лица.

В электроустановках разрешается проверять отсутствие напряжения одному работающему из оперативно-ремонтного персонала, имеющему группу по электробезопасности не ниже IV в электроустановках напряжением выше 1000 В и группу по электробезопасности не ниже III в электроустановках напряжением до 1000 В.

В электроустановках, у которых герметичные, изолированные токоведущие части, выверка схемы заключается в проверке выбранного направления по оперативным надписям, а также проверке отключенного положения коммутационного аппарата, в том числе и на обратной стороне линии, откуда может быть подано напряжение. Проверка отключенного положения коммутационного аппарата выполняется по механическим указателям положения вала привода, жестко связанного с подвижными контактами, а также проверкой отсутствия напряжения в специально выполненных гнездах, имеющих электрическую связь с токоведущими частями через делитель напряжения.

В электроустановках напряжением выше 1000 В заземляются токоведущие части всех фаз (полюсов) отключенного для работ участка со всех сторон, откуда может быть подано напряжение. Исключением являются сборные шины, на которые достаточно установить одно заземление.

Заземленные токоведущие части электроустановок отделяются от токоведущих частей, находящихся под напряжением, видимым разрывом.

Перед допуском к работе на коммутационных аппаратах с дистанционным управлением должны быть:

1) отключены вспомогательные цепи (управления, сигнализации, подогрева и прочие) и силовые цепи привода;

2) закрыты и заперты на замок задвижки на трубопроводе подачи воздуха в баки воздушных выключателей или на пневматические приводы и выпущен в атмосферу имеющийся в них воздух, при этом спускные пробки (клапаны) остаются в открытом положении;

3) приведены в нерабочее положение включающий груз или включающие пружины из приводов выключателей;

4) приняты меры, препятствующие ошибочному и самопроизвольному срабатыванию коммутационного аппарата;

5) вывешены плакаты: «НЕ ВКЛЮЧАТЬ! РАБОТАЮТ ЛЮДИ» на ключах дистанционного управления и «НЕ ОТКРЫВАТЬ! РАБОТАЮТ ЛЮДИ» на закрытых задвижках и тому подобное.

Токоведущие выводы выключателя напряжением 220 кВ и выше действующих подстанций для снятия наведенного напряжения заземляются.

Во время отключения и включения воздушных выключателей при опробовании, наладке и испытаниях запрещается нахождение работающих около выключателей.

Команду на выполнение операций выключателем производитель работ по испытаниям или наладке подаёт только после того, как члены бригады будут удалены от выключателя на безопасное расстояние или в укрытие.

Для пробных включений и отключений коммутационного аппарата при его наладке и регулировке допускается при несданном наряде временная подача напряжения в цепи управления, силовые цепи привода, а также подача воздуха в привод и на выключатель.

После опробования при необходимости продолжения работы на коммутационном аппарате постоянным оперативным персоналом (производителем работ в электроустановках без постоянного оперативного персонала) выполняются технические мероприятия, требуемые для допуска бригады к работе.

При работе на оборудовании тележки или в отсеке шкафа КРУ тележку с оборудованием необходимо выкатить в ремонтное положение, шторку отсека, в котором токоведущие части остались под напряжением, запереть на замок и вывесить плакат безопасности «СТОЙ!

НАПРЯЖЕНИЕ», на тележке или в отсеке, где предстоит работать, вывесить плакат «РАБОТАТЬ ЗДЕСЬ».

В РУ, оснащенных вакуумными выключателями, испытания дугогасительных камер повышенным напряжением с амплитудным значением более 20 кВ необходимо выполнять с использованием специального экрана для защиты персонала от возникающих рентгеновских излучений.

На крышах КРУ внутренней и наружной установки между секциями шин 6-10 кВ монтируются перегородки, на которых с обеих сторон вывешивается плакат безопасности «СТОЙ! НАПРЯЖЕНИЕ».

Для исключения попадания под напряжение в резервных ячейках КРУ выполняются мероприятия, препятствующие ошибочному проникновению работающих в эти ячейки (запереть все отсеки ячеек и шторочный механизм на механические замки, демонтировать ошиновку между шинами и проходными наружными изоляторами, шинами и выключателем и тому подобное).

Допуск к работам на КТП независимо от наличия или отсутствия напряжения на питающей линии проводится только после отключения сначала коммутационных аппаратов напряжением до 1000 В, а затем линейного разъединителя напряжением выше 1000 В и установки заземления (включения заземляющих ножей) на шлейфы напряжением выше 1000 В подстанции и отходящие линии напряжением до 1000 В. Если возможна подача напряжения со стороны 0,4 кВ, то линии этого напряжения отключаются с противоположной питающей стороны, приняты меры, препятствующие ошибочному или самопроизвольному их включению.

На КТП приводы разъединителей, выключателей нагрузки, шкафы напряжением выше 1000 В и щиты напряжением до 1000 В запираются на замок.

Двери трансформаторных подстанций и камер силовых трансформаторов, находящихся в работе или резерве, запираются на замок, и на них укреплены предупреждающие знаки «ОСТОРОЖНО! ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ».

Работать внутри бака силового трансформатора следует в специальной одежде, не имеющей металлических застежек, удобной для передвижения, защищающей тело от перегрева и загрязнения маслом, резиновых сапогах, с использованием защитной каски и перчаток.

Работы по регенерации трансформаторного масла, его осушке, чистке, дегазации выполняются с использованием специальной одежды и обуви.

Запрещается использовать шины в цепи первичных обмоток трансформаторов тока в качестве токоведущих проводников при монтажных и сварочных работах.

При производстве работ на трансформаторах тока или в цепях, подключенных к их вторичным обмоткам, соблюдаются следующие требования безопасности:

-зажимы вторичных обмоток до окончания монтажа подключаемых к ним цепей замыкаются накоротко. Перемычку устанавливают электроизолирующим инструментом. После присоединения смонтированных цепей к трансформаторам тока перемычка (закоротка) переносится на ближайшую сборку зажимов и снимается только после полного окончания монтажа и проверки правильности присоединения смонтированных цепей;

-при проверке полярности обмоток прибор, которым она производится, присоединяется к зажимам вторичной обмотки до подачи импульса тока в первичную обмотку.

Испытания электрооборудования, в том числе и вне электроустановок (в недействующих электроустановках, на складах, территории организации и т.п.), проводимые с использованием передвижной испытательной установки, выполняются по нарядам.

Испытания электрооборудования проводит бригада. Производитель работ обязан иметь группу по электробезопасности не ниже IV, члены бригады - группу по электробезопасности не ниже III, а работающий, которому поручается охрана рабочего места - группу по электробезопасности II и выше.

В состав бригады, проводящей испытания оборудования, могут быть включены работающие из ремонтного персонала, не имеющие допуска к специальным работам по испытаниям, для выполнения подготовительных работ и надзора за оборудованием.

Испытания изоляционных материалов и изделий (средства защиты, изоляционные детали, трансформаторное масло и тому подобное), проводимые вне установок напряжением выше 1000 В и с использованием стационарных испытательных установок (у которых токоведущие части за-крыты сплошными или сетчатыми ограждениями, а двери снабжены блокировкой), может выполнять работающий, имеющий группу по электро-безопасности не ниже III, единолично в порядке текущей эксплуатации по разработанной методике.

Рабочее место оператора испытательной установки отделяется от установки напряжением выше 1000 В. Дверь, ведущая в часть установки напряжением выше 1000 В, имеет блокировку, обеспечивающую снятие напряжения с испытательной схемы в случае открытия двери и препятствующую подаче напряжения при открытых дверях. На рабочем месте оператора предусматривается отдельная световая и звуковая сигнализация, извещающая о подаче испытательного напряжения. При подаче испытательного напряжения оператор располагается на электроизолирующем ковре.

Передвижные испытательные установки оснащены наружной световой сигнализацией, автоматически включающейся при наличии напряжения на выходе испытательной установки, и звуковой сигнализацией, кратковременно извещающей о подаче испытательного напряжения.

Испытываемое оборудование, испытательная установка и соединительные провода между ними ограждены щитами, канатами с плакатами безопасности «ИСПЫТАНИЕ. ОПАСНО ДЛЯ ЖИЗНИ!», обращенными наружу. Ограждение устанавливают работающие, проводящие испытания.

При необходимости следует выставлять охрану из членов бригады, имеющих группу по электробезопасности II и выше, для предотвращения приближения посторонних людей к испытательной установке, соединительным проводам и испытываемому оборудованию. Члены бригады, охраняющие зону испытаний, обязаны находиться вне ограждения и считать испытываемое оборудование находящимся под напряжением. Эти работающие могут покинуть место работ только с разрешения производителя работ.

При испытаниях КЛ, противоположный конец которой расположен в запертой камере, отсеке КРУ или в помещении, на дверях или ограждении вывешивают знаки безопасности - плакат «ИСПЫТАНИЕ. ОПАСНО ДЛЯ ЖИЗНИ!».

При размещении испытательной установки и испытываемого оборудования в разных помещениях или на разных участках РУ разрешается нахождение членов бригады с группой по электробезопасности не ниже III, ведущих наблюдение за состоянием изоляции, отдельно от производителя работ. Эти члены бригады располагаются вне ограждения и перед началом испытаний получают целевой инструктаж от производителя работ.

Снимать заземления (отключать заземляющие ножи), препятствующие проведению испытаний, и устанавливать их снова разрешается только по указанию руководителя работ, после заземления вывода высокого напряжения испытательной установки.

При сборке испытательной схемы выполняется защитное и рабочее заземление испытательной установки и, если требуется, защитное заземление корпуса испытываемого оборудования. Проведение испытаний передвижной установкой с заземлением ее корпуса только с помощью рабочей схемы запрещается. Перед испытанием проверяется надежность заземления корпуса.

Перед присоединением испытательной установки к электросети напряжением 0,4 кВ ввод высокого напряжения ее заземляется.

Сечение медного гибкого провода, применяемого в испытательных схемах для заземления, должно быть не менее 4 мм².

Присоединение испытательной установки к сети напряжением 0,4 кВ выполняется через коммутационный аппарат с видимым разрывом цепи или через штепсельную вилку, расположенные на месте управления установкой.

Присоединять испытательный провод к фазе (полюсу) испытываемого оборудования или к жиле кабеля и отсоединять его разрешается после его заземления по указанию руководителя работ (испытаний).

Перед каждой подачей испытательного напряжения производитель работ обязан:

1) проверить правильность сборки схемы испытаний и надежность рабочих и защитных заземлений;

2) проверить наличие всех членов бригады и работающих, назначенных для охраны, на указанных им местах, выведены ли посторонние люди и можно ли подавать испытательное напряжение на оборудование;

3) предупредить всех членов бригады о подаче напряжения словами «Подаю напряжение» и, убедившись, что предупреждение услышано всеми членами бригады, снять заземление с вывода испытательной установки и подать на нее напряжение питания.

С момента снятия заземления с вывода установки вся испытательная установка, включая испытываемое оборудование и соединительные провода, считается находящейся под напряжением и проводить какие-либо присоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании запрещается.

Запрещается с момента подачи напряжения на вывод испытательной установки входить в нее и выходить из нее, находиться на испытываемом оборудовании, а так же прикасаться к корпусу испытательной установки, стоя на земле.

Проведение этих работ при отсутствии заземляющих устройств допускается в исключительных случаях с разрешения руководства организации.

После окончания испытаний производитель работ обязан снизить напряжение испытательной установки до нуля, отключить ее от питающей сети, заземлить вывод установки и сообщить об этом бригаде словами: «Напряжение снято». Только после этого можно присоединять провода или в случае полного окончания испытания отсоединять их от испытательной установки и снимать ограждение.

После испытания оборудования со значительной емкостью (кабели, генераторы) с него снимается остаточный заряд путем включения заземляющих ножей, устройств для разрядки конденсаторов, применения разрядных штанг, а также заземления кабелей вывода генератора и всех выводов электрооборудования испытательной установки.

При проведении работ с электроизмерительными клещами и электроизолирующими штангами необходимо использовать электроизолирующие перчатки и средства индивидуальной защиты лица.

В электроустановках до 1000 В работать с электроизмерительными клещами и электроизолирующими штангами для проведения измерений может один работающий, имеющий группу по электробезопасности не ниже III. В электроустановках напряжением выше 1000 В работу с электроизмерительными клещами и электроизолирующими штангами для проведения измерений проводят по наряду или распоряжению двое работающих: один - имеющий группу по электробезопасности не ниже IV, другой - имеющий группу по электробезопасности не ниже III (он может быть из оперативно-ремонтного персонала).

Работу с измерительными штангами для испытания штыревых и подвесных изоляторов проводят не менее двух работающих: один, имеющий группу по электробезопасности не ниже IV, остальные - группу по электробезопасности не ниже III. Подниматься на конструкцию или мобильную подъемную рабочую платформу, а также спускаться с нее следует без штанги.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром может выполнять один работающий, имеющий группу по электробезопасности не ниже III.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром выполняется на отключенных токоведущих частях, с которых снят остаточный заряд путем предварительного заземления. Снимать заземление с токоведущих частей следует только после подключения мегаомметра.

При измерении мегаомметром сопротивления изоляции токоведущих частей соединительные провода следует присоединять к ним с помощью изолирующих держателей (штанг). В электроустановках напряжением выше 1000 В, кроме того, необходимо пользоваться электроизолирующими перчатками.

При работе с мегаомметром запрещается прикасаться к токоведущим частям, к которым он присоединен. После окончания работы необходимо снять с токоведущих частей остаточный заряд путем их кратковременного заземления.

В случае, когда измерения сопротивления изоляции мегаомметром входят в объем работ, не требуется поручать эти измерения в наряде или распоряжении.

Для обеспечения безопасности работ, проводимых в цепях измерительных приборов, устройств релейной защиты и электроавтоматики, вторичные цепи (обмотки) измерительных трансформаторов тока и напряжения должны иметь постоянные заземления. В сложных схемах устройств релейной защиты для группы электрически соединенных вторичных обмоток измерительных трансформаторов допускается выполнять заземление только в одной точке.

При необходимости разрыва токовой цепи измерительных приборов, устройств релейной защиты и электроавтоматики цепь вторичной обмотки трансформатора тока предварительно закорачивается на специально предназначенных для этого зажимах или с помощью испытательных блоков.

Во вторичной цепи между трансформаторами тока и установленной закороткой запрещается производить работы, которые могут привести к размыканию цепи и появлению напряжения, опасного для жизни работающих.

При работах во вторичных устройствах и цепях трансформаторов напряжения с подачей напряжения от постороннего источника принимаются меры, исключающие возможность обратной трансформации напряжения.

3. Общие принципы выполнения дефектоскопии электрооборудования. Методы обнаружения дефектов электрооборудования

При оценке состояния оборудования и возможности включения его в работу необходимо установить отсутствие или наличие дефектов в нем, при наличии последних — выявить их. Как уже говорилось выше, общие конструктивные элементы и узлы определяют и общие дефекты, из которых, как показывает практический опыт, основными являются следующие:

- у корпусов — повреждения их в процессе транспортировки и монтажа, дефекты сварных или болтовых соединений, неплотности в стыках, дефекты уплотнений и т. п.;
- у обмоток — увлажнение изоляции (имеет место чаще всего в результате длительного и неправильного хранения оборудования); механические повреждения; нарушения междувитковой изоляции, соединений в обмотках, токопроводах и выводах; несоответствие маркировки выводов требованиям ГОСТ;
- у устройств переключения силовых трансформаторов — механические повреждения, неправильное соединение отпаяк или неправильная работа переключателя;
- у магнитопроводов — замыкания отдельных листов стали между собой, нарушение изоляции стяжных болтов, если они есть, коррозия листов стали, засорение вентиляционных каналов (статоров и роторов электрических машин), слабая затяжка болтов (чаще силовых трансформаторов);
- у коллекторов машин постоянного тока — дефекты паяк «петушков», т. е. мест соединения отдельных секции обмотки якоря к пластинам коллектора, засорение промежутков между пластинами;

- у подшипников синхронных генераторов — нарушения изоляции их от фундаментной плиты, служащей для устранения паразитных «подшипниковых токов», которые возникают у генераторов, если изоляция нарушена, при их работе в контуре вал ротора — подшипники — фундаментные плиты — вал ротора из-за несимметрии магнитного поля ротора (вызывается неравномерностью воздушного зазора между ротором и статором; в результате в контуре возникает при работе генератора пульсирующее поле, вызывающее по закону Джоуля — Ленца пульсирующие токи, повреждающие подшипники и металл в местах их возникновения);
- у бетонных реакторов — увлажнение бетонных стоек, выполняющих одновременно функции изоляции между витками обмотки реактора и опорной конструкции;
- у устройств заземления — дефекты соединения заземляющих проводок с корпусом оборудования и между отдельными участками заземляющих устройств, несоответствие сопротивления растеканию контура требованиям ПУЭ и техники безопасности.

Для обеспечения надежной работы электрооборудования все его дефекты должны быть своевременно выявлены, оценены и устранены.

Общие дефекты оборудования определяют общие методы их выявления, которые могут быть объединены в следующие основные группы:

- методы определения состояния механической части электрооборудования;
- измерения и испытания, определяющие состояние магнитной системы;
- измерения и испытания, определяющие состояние токоведущих частей и контактных соединениях;
- измерения и испытания, определяющие состояние изоляции токоведущих частей;
- методы проверки и испытаний устройств релейной защиты, автоматики, управления, сигнализации и других вторичных устройств;
- методы окончательной оценки пригодности электрооборудования к опробованию и эксплуатации.

4. Оценка состояния механической части электрооборудования

Оценка состояния механической части начинается с его осмотра (ревизии). При осмотре оценивается общее состояние оборудования, выявляются все наружные дефекты, проверяется соответствие оборудования проекту и техническим требованиям по паспортным данным и заводской документации.

Осмотру подвергаются все виды электрооборудования, реле, приборы. При осмотре обращается внимание на отсутствие коррозии и механических повреждений, у маслонаполненных аппаратов — отсутствие течи масла, повреждения у магнитопроводов, выводов, контактных соединений, главной и между витковой изоляции.

Оборудование перед осмотром должно быть очищено от пыли, грязи, заводской смазки и ржавчины; монтаж его должен соответствовать нормативным требованиям. Перечень замеченных недостатков по внешнему состоянию оборудования предъявляется монтажному и эксплуатационному персоналу для принятия мер по их устранению. Дальнейшие работы по проверке, испытаниям и наладке производятся только после устранения дефектов.

Состояние механической части масляных выключателей определяется, кроме того, по целому комплексу проверок, из которых главными являются следующие: измерение скорости включения и отключения, «вжатия» контактов при включении, одновременности замыкания и размыкания контактов в пределах одной и всех трех фаз, измерение минимального напряжения срабатывания привода, опробование работы выключателей при повышенном, пониженном и нормальном напряжениях оперативного тока.

Состояние механической части воздушных выключателей дополнительно определяется измерением «сброса» давления воздуха при операциях включения и отключения, давления

«строгания» главных контактов выключателя и давления завершения операции, расхода воздуха на утечку, осциллограммой различных циклов выключателя.

Механическое состояние электрических машин окончательно определяется результатами опробования их на холостом ходу и под нагрузкой с проверкой нагрева и вибрации, работы масляной и охлаждающей систем, а силовых трансформаторов — по результатам измерений сопротивления постоянному току обмоток и коэффициента трансформации, снятия «круговых диаграмм» (при наличии у трансформатора переключателя под нагрузкой), по работе системы принудительной циркуляции масла и обдува радиаторов для охлаждения обмоток (при их наличии).

Состояние устройств заземления определяется измерением их сопротивления, напряжения прикосновения переходных сопротивлений постоянному току отдельных «точек» присоединения.

Механическое состояние измерительных трансформаторов, различных сборок, щитов, неподвижных узлов комплектных распределительных устройств, реакторов и т.п. определяется, главным образом, только по результатам внешнего осмотра.

2 ОСНОВЫ ПУСКО-НАЛАДКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Под наладкой электрооборудования понимают процесс восстановления первоначальных или настройка необходимых характеристик электрических машин, аппаратов и схем автоматического регулирования.

Наладочные работы занимают важное место в эксплуатации электрооборудования, где является завершающим этапом в строительстве и монтаже объектов и электроустановок. Высокое качество проведения этих работ во многом определяется готовностью введения электрооборудования к эксплуатации и надежной его работе.

Существует три вида наладки электрооборудования:

- проводится перед контрольным испытанием и сдачей электрооборудования на заводе-изготовителе;
- контрольная наладка – производится перед сдачей электрооборудования в постоянную эксплуатацию;
- вторичная наладка – после планового ремонта или после какого-либо нарушения нормальной работы в процессе эксплуатации. Смонтированное электрооборудование подстанций перед вводом в эксплуатацию подвергается ряду проверок и испытаний, которые оформляются соответствующими протоколами.

Испытательные и наладочные работы, как правило, ведутся самостоятельными наладочными организациями, состоящими из высококвалифицированного инженерного и технического персонала, оснащенного необходимыми приборами и испытательным оборудованием.

Объем и номенклатура наладочных работ определяются технологическими условиями работы электрооборудования и требованиями директивных документов, в частности, «Норм испытания электрооборудования», ПУЭ, СНиП, ПТБ и ПТЭ.

При измерении сопротивления изоляции отсчет показаний мегаомметра проводится через 60 с после начала измерений. Если требуется определить коэффициент абсорбции отсчет проводится дважды: через 15 и 60 с после начала измерений.

Изоляция распределительного устройства со всей его ошиновкой испытывается вместе со всеми присоединенными аппаратами: разъединителями, выключателями, защитной аппаратурой, измерительными приборами – трех-шестикратным повышенным напряжением повышенной частоты.

Повышенное напряжение прикладывается поочередно к каждой фазе по отношению к заземленным частям. Продолжительность испытания каждой фазы 10 минут. Во время испытаний ведут наблюдения за величиной испытательного напряжения по вольтметру и за величиной тока утечки по миллиамперметру. Испытание считается успешным если не обнаружено колебаний стрелки миллиамперметра, характерных потрескиваний и разрядов, если не произошел полный пробой.

1. Общие сведения об электрических подстанциях

Электрическая подстанция представляет собой электроустановку, служащую для приема, распределения и преобразования электрической энергии. Основными элементами трансформаторных подстанций являются: силовые трансформаторы, автотрансформаторы, вводные конструкции, распределительные устройства, питание собственных нужд, системы защиты и автоматики, системы заземления. Общая структура основных элементов трансформаторных подстанций представлена на рисунке 1.1.

Испытываемое оборудование	Виды испытаний
Силовые трансформаторы	Измерение сопротивления обмоток постоянному току
	Измерение сопротивления изоляции
	Испытание изоляции повышенным напряжением
	Проверка коэффициента трансформации
	Проверяется фазировка трансформаторов, если на подстанции установлено два трансформатора
	Измерение тока и потерь холостого хода
Выключатели	Измерение сопротивления изоляции
	Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты
	Измерение сопротивления контактов постоянному току
	Измерение скоростных и временных характеристик
	Измерение хода подвижных частей, вжима контактов при включении, одновременности замыкания и размыкания контактов
	Проверка минимального напряжения срабатывания электромагнитов управления
	Испытание выключателя многократными включениями и отключениями
Разъединители и отделители	Измерение сопротивления изоляции
	Испытание повышенным напряжением промышленной частоты
	Измерение сопротивления постоянному току
	Проверка работы
Конденсаторные батареи	Измерение сопротивления изоляции
	Измерение сопротивления разрядного резистора конденсаторов
	Измерение емкости
	Испытание повышенным напряжением
Аккумуляторные батареи	Измерение сопротивления изоляции
	Измерение емкости
	Испытание повышенным напряжением
	Проверка плотности и температуры электролита
Силовые кабели	Измерение сопротивления изоляции
	Испытание изоляции повышенным напряжением
Шины	Измерение сопротивления изоляции
	Испытание повышенным напряжением
	Контроль контактных соединений сборных и соединительных шин.
Измерительные трансформаторы	Проверка сопротивления изоляции обмоток измерительных трансформаторов
	Измерение $\text{tg}\delta$ у трансформаторов тока
	Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением
	Измерение сопротивления обмоток постоянному току
	Проверка коэффициента трансформации трансформаторов тока

	Испытание витковой изоляции с измерением тока холостого хода
	Проверка полярности вторичных обмоток трансформаторов тока
	Снятие характеристик намагничивания трансформаторов тока
Релейная защита и автоматика	Проверка и регулировка механической части
	Проверка электрических соединений в соответствии со схемой
	Измерение сопротивления изоляции
	Измерение временных характеристик
Устройства защитного отключения	Проверка правильности монтажа
	Проверка работоспособности вручную
	Проверка сопротивления петли фаза – ноль
	Измерение времени отключения
	Измерение тока срабатывания уставок
Заземляющее устройство	Измерение сопротивления заземляющих устройств
	Измерения металlosвязи оборудования с заземлителем
	Измерение удельного сопротивления грунта

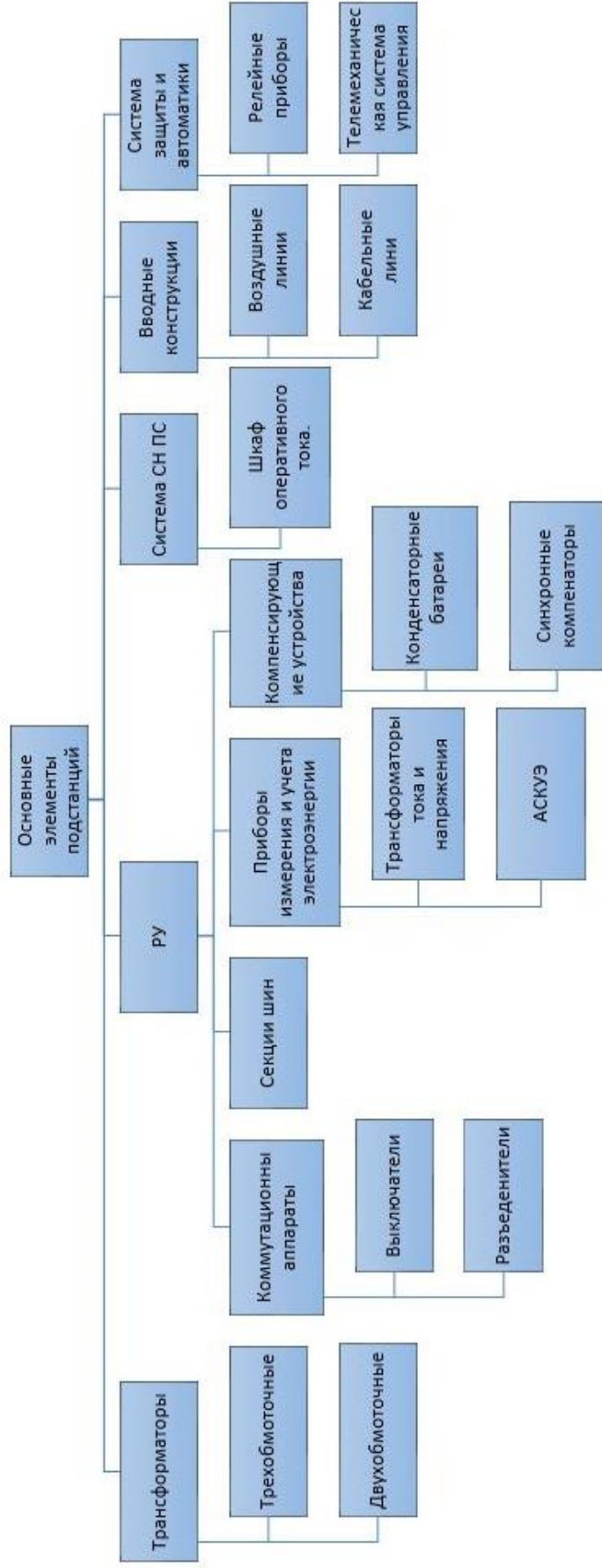


Рисунок 1.1 – Общая структура основных элементов трансформаторных подстанций 10кВ

Трансформаторные подстанции выпускаются с трехобмоточными и двухобмоточными трансформаторами. Они могут быть стационарными или передвижными на салазках [1].

К основным параметрам трансформатора относятся номинальные мощность S_N , кВА; напряжение U , кВ; ток I , А; напряжение короткого замыкания U_k , %; ток холостого хода I_x ; потери холостого хода ΔP_x , потери короткого замыкания ΔP_k .

Под номинальной мощностью S_N трансформатора понимают мощность, на которую может быть длительно нагружен трансформатор в нормальных условиях эксплуатации. Номинальная мощность и климатическое исполнение трансформатора указываются в паспорте.

Номинальное напряжение – это напряжение первичной и вторичной обмоток при работе трансформатора на холостом ходу. Коэффициент трансформации трансформатора k_t представляет собой отношение высшего напряжения, подводимого к первичной обмотке и низшего напряжения, подводимого к вторичной обмотке, а также отношение первичных и вторичных токов и количества витков первичной обмотки к вторичной.

Номинальный ток обмоток трансформатора определяется ее номинальной мощностью и номинальным напряжением. Номинальный ток указывается в паспорте. Это значение должно удовлетворять длительной нормальной работе трансформатора [1].

Напряжением короткого замыкания называется такое напряжение, которое необходимо подвести к одной из обмоток, при накоротко соединенной другой и в ней протекает номинальный ток. В трехобмоточных трансформаторах имеется три значения напряжения короткого замыкания, так как в нем значение определяется для любой пары его обмоток при разомкнутой третьей обмотке.

Ток холостого хода I_{xx} – значение тока, при протекании номинального напряжения в первичной обмотке и отсутствии нагрузки во вторичной обмотке. Ток холостого хода выражается в процентах от номинального тока трансформатора.

Потери холостого хода состоят из потерь в стали на перемагничивание и вихревые токи. Они определяются по опыту холостого хода, то есть без подключения нагрузки к вторичной обмотке. Потери КЗ состоят из потерь в обмотках при протекании по ним токов нагрузки и добавочных потерь в обмотках и конструкциях трансформатора. Эти потери определяются с помощью опыта короткого замыкания. Для этого к первичной обмотке трансформатора подводят пониженное напряжение и накоротко соединяют вторичную.

Высоковольтные выключатели характеризуются по номинальному току $I_{ном}$, А; номинальному напряжению $U_{ном}$, кВ; номинальному току отключения $I_{отк. ном}$, А; **полное время отключения выключателя** $t_{отк}$, с; **полное время включения выключателя** $t_{вкл}$, с.

Номинальный ток выключателя – это наибольший ток, который выключатель способен выдерживать длительное время без повреждений при номинальных значениях напряжения и частоты, а также при температуре его элементов, не превышающей заданную. Номинальный ток выключателя указывается в его паспортных данных [2].

Под номинальным напряжением выключателя понимают напряжение системы, в которой он работает. Если выключатель может использоваться для различных классов напряжения, то за номинальное принимается наивысшее номинальное напряжение.

Номинальным током отключения называется наибольший ток короткого замыкания, который выключатель способен отключить.

Полное время отключения выключателя – промежуток времени от момента подачи команды на отключение до момента погасания дуги на всех полюсах.

Полное время включения выключателя – промежуток времени от момента подачи команды на включение до момента пробоя промежутка между контактами.

Разъединитель имеет следующие паспортные параметры: номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ; ток термической стойкости $I_{тер}$, А; предельное время действия тока термической стойкости $t_{пред}$, с; ток электродинамической стойкости $I_{дин}$, А; полное время включения $t_{вкл}$, с.

Под током термической стойкости понимают значение тока, термический эффект от которого должны выдерживать контакты короткозамыкателя в течении заданного участка времени без повреждений и нарушений его работоспособности.

Предельное время действия тока термической стойкости – максимальное время действия термической стойкости, в течении которого электроустановка может работать без повреждений.

Ток электродинамической стойкости – ток при коротком замыкании, значение которого должны выдерживать контакты короткозамыкателя без повреждений и нарушений его дальнейшей работоспособности.

Полное время отключения выключателя – промежуток времени от момента подачи команды на отключение до момента погасания дуги на всех полюсах.

Воздушные и кабельные линии применяются для передачи электроэнергии. К параметрам воздушных и кабельных линий относятся активное r_0 , Ом/км и индуктивное X_0 , Ом/км сопротивление.

Активное сопротивление – сопротивление проводника при протекании по нему переменного тока.

Индуктивное сопротивление линии обусловлено переменным магнитным полем, возникающим вокруг и внутри трехфазной системы проводника, которое наводит в них ЭДС самоиндукции и взаимной индукции.

Шина представляет собой проводник с низким сопротивлением, к которому можно подсоединить несколько отдельных электрических цепей.

Шинопровод – устройство, представляющее собой систему проводников, состоящее из шин, установленных на опорах из изоляционного материала и в каналах, коробах или подобных оболочках [2].

Трансформатор тока представляет собой вспомогательный аппарат, предназначенный для включения измерительных приборов и реле в электрические цепи переменного тока [3].

Основные параметры трансформаторов тока: номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ; номинальный первичный ток $I_{1ном}$, А; коэффициент трансформации, K_t ; номинальный вторичный ток $I_{2ном}$, А; номинальный ток динамической стойкости, $I_{дин}$, А; ток термической стойкости $I_{тер}$, А.

Номинальный первичный ток — это ток, протекающий по первичной обмотке трансформатора тока, при котором предусмотрена его длительная работа. Значение первичного номинального тока также указывается в паспорте на конкретный трансформатор тока [2].

Номинальный вторичный ток — это ток, протекающий по вторичной обмотке трансформатора тока [2].

Коэффициент трансформации измерительного трансформатора тока равен отношению первичного тока ко вторичному току.

Номинальный ток динамической стойкости – наибольшее мгновенное значение первичного тока, которое трансформатор тока может выдерживать при короткозамкнутой вторичной обмотке без электрических или механических повреждений из-за возникающих электромагнитных воздействий [4].

Способность трансформатора тока выдерживать тепловое воздействие токов короткого замыкания определенный промежуток времени называется термической стойкостью.

Трансформатор напряжения предназначен для понижения высокого напряжения до стандартного значения и для отделения цепей измерения и релейной защиты от первичных цепей высокого напряжения.

Основные технические данные, характеризующие трансформаторы напряжения: номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ; напряжение короткого замыкания $U_k\%$, номинальная мощность $S_{ном}$, кВ·А.

Номинальное напряжение трансформатора называется номинальное напряжение его первичной обмотки.

Номинальная мощность трансформатора напряжения – значение мощности трансформатора напряжения, указанное изготовителем на паспортной табличке, отдаваемой во вторичную цепь при номинальном вторичном напряжении с сохранением заявленных классов точности [4].

Напряжение короткого замыкания – это напряжение на первичной обмотке при замкнутых выводах вторичной основной обмотки при прохождении по ней номинального тока [5].

Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии — обеспечивают коммерческий и технический учет потребления или отпуска электроэнергии, оперативный контроль текущей нагрузки.

Основные технические параметры: номинальное напряжение $U_{ном}$, В; номинальная частота переменного тока $f_{ном}$, Гц.

В качестве средств компенсации реактивной мощности применяются конденсаторные батареи, синхронные компенсаторы, синхронные электродвигатели.

Синхронным компенсатором называется синхронный двигатель облегчённой конструкции, предназначенный для работы на холостом ходу [6].

К основным параметрам синхронного компенсатора относятся: номинальная мощность $S_{ном}$, кВ·А; номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ; номинальный ток $I_{ном}$, А; синхронное реактивное сопротивление X , переходное реактивное сопротивление X' , сверхпереходное реактивное сопротивление X'' , момент инерции ротора GD^2 .

Под синхронным реактивным сопротивлением понимают такое сопротивление, которым характеризуется поле обмотки статора при синхронном вращении ротора.

Переходное реактивное сопротивление необходимо для расчета переходных процессов в машине, например, процесса затухания тока статора при внезапном коротком замыкании. Переходное реактивное сопротивление определяется полем рассеяния между обмотками статора и ротора.

Сверхпереходное реактивное сопротивление определяет переходный процесс в момент его возникновения, например, его величина определяет амплитуду тока внезапного короткого замыкания [7].

Момент инерции является мерой инертности тела и влияет на динамические характеристики синхронного компенсатора [8].

Конденсаторные батареи — устройства, предназначенные для компенсации реактивной мощности. Конденсаторных батареи используются для снижения перетоков реактивной мощности, которое, в свою очередь, ведет к уменьшению загрузки ЛЭП, трансформаторов, позволяет регулировать напряжение внутри энергосистемы.

Основными параметрами конденсаторных батарей являются: номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ; мощность Q_k , кВар; емкость C , мкФ.

Емкость конденсаторных батарей характеризует способность конденсаторных батарей накапливать электрический заряд.

Шкафы оперативного постоянного тока предназначены для приёма электрической энергии собственных нужд переменного тока от двух независимых источников, преобразования её в электрическую энергию постоянного тока и распределения электрической энергии по цепям собственных нужд постоянного тока; питания цепей постоянного тока через выпрямительные устройства и от встроенной аккумуляторной батареи. Шкафы применяются на трансформаторных подстанциях, распределительных пунктах для питания оперативных цепей схем релейной защиты и автоматики [9].

Основными параметрами шкафа оперативного тока являются: номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ; номинальный первичный ток $I_{1ном}$, А; емкость C , мкФ; номинальная частота $f_{ном}$, Гц.

Релейная защита представляет собой специальные средства и устройства для защиты, выполняемые с помощью реле, процессоров, блоков и других аппаратов, и предназначенные для отключения силовых выключателей при напряжении свыше 1000 В или автоматических выключателей при напряжении до 1000 В [10].

Параметры релейной защиты зависят от вида защитного устройства. Основные параметры релейных защит: номинальное напряжение $U_{ном}$, кВ, номинальный ток $I_{ном}$, А; напряжение срабатывания $U_{сраб}$, кВ; ток срабатывания $I_{сраб}$, А; выдержка времени t , с; коэффициент возврата K_v .

Под параметрами срабатывания реле понимают значение тока или напряжения, при котором реле приводится в действие.

Коэффициент возврата реле – отношение значения величины отпускания (возврата) к значению величины срабатывания электрического реле

Выдержка времени – интервал времени от момента подачи или съема возбуждения электрического реле до мгновения выполнения этим реле предназначенной функции, являющейся нормируемой характеристикой времени [11].

Трансформаторные подстанции подразделяются на:

- закрытые, когда все оборудование подстанции находится внутри здания;
- комплектные, состоящая из металлических шкафов в которых находится все электрооборудование;
- открытые, в которых все электрооборудование находится на открытом воздухе.

В настоящее время большинство трансформаторных подстанций на напряжение 10 кВ изготавливаются комплектными. В комплектной трансформаторной подстанции собраны силовой трансформатор, ввод высокого напряжения и распределительное устройство низкого напряжения. Комплектная трансформаторная подстанция имеет большое количество преимуществ по сравнению с обычной, некомплектной трансформаторной подстанцией. Для КТП не требуется отдельного помещения, они могут устанавливаться в непосредственной близости от потребителей. Они также полностью безопасны при эксплуатации, т. к. не имеют доступных для случайного прикосновения токоведущих частей.

На трансформаторных подстанциях всех видов устанавливаются один или два силовых трансформатора. Основными частями трансформатора являются сердечник и обмотки. Сердечник собирают из пластин специальной электротехнической стали которые стягиваются при помощи накладок и шпилек, изолированных от пластин. На стальном сердечнике расположены обмотка высшего и обмотка низшего напряжения, которые изолированы друг от друга и от сердечника.

В масляных трансформаторах сердечник вместе с обмотками погружается в бак с трансформаторным маслом, который служит для охлаждения обмоток и изоляции. Для увеличения охлаждения масла стенки бака делают ребристыми, с вваренными в них трубками или снабжают радиаторами. У сухих трансформаторов сердечник с обмотками размещены в разборном кожухе из листовой стали с вентиляционными жалюзи в стенках и люками на крышке для циркуляции охлаждающего воздуха.

На крышке бака масляного трансформатора размещены вводы – проходные фарфоровые изоляторы с гладкой или ребристой поверхностью с токоведущими стержнями, которые прикреплены к верхней рамке на прокладках из маслоупорной резины.

Над баком трансформатора расположен расширитель – добавочный бак цилиндрической формы, служащий для защиты масла от окисления и увлажнения [12].

Конструкция масляного трансформатора и сухого показаны на рисунке 2.1 и 2.2

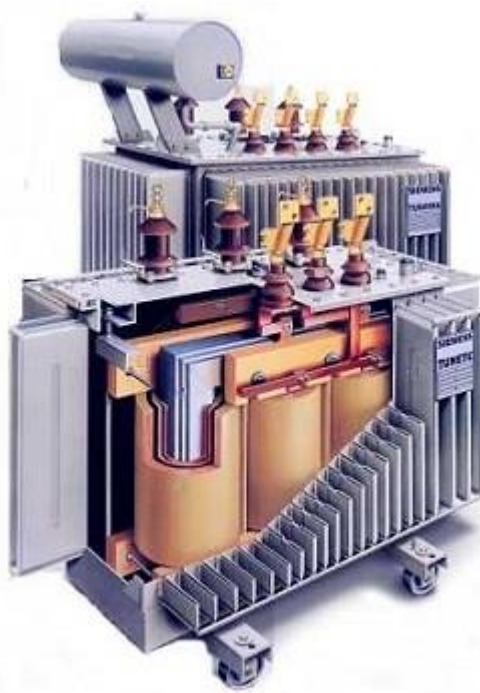


Рисунок 2.1 – Конструкция масляного трансформатора.



Рисунок 2.2 – Конструкция сухого трансформатора.

Для оперативных включений и отключений отдельных цепей в нормальных или аварийных режимах применяются высоковольтные выключатели. Выключатели бывают масляные, воздушные, вакуумные, элегазовые, автогазовые и электромагнитные.

Высоковольтный выключатель состоит из: контактной системы с дугогасительным устройством, токоведущих частей, корпуса, изоляционной конструкции и приводного механизма.

Масляные выключатели по принципу гашения дуги нагрузки или короткого замыкания подразделяются на баковые и маломасляные.

Конструктивно баковый масляный выключатель представлен на рисунке 2.3 и представляет собой бак 1, выполненный из листовой стали и имеет цилиндрическую форму. Изоляция стенок бака 2 и междуфазовые перегородки изготовлены из электрокартона. На чугунной литой крышке установлены шесть проходных фарфоровых изоляторов 3, внутри которых проходят токоведущие стержни 4 и газовод [10].

Под крышкой расположен приводной механизм выключателя, преобразующий вращательное движение вала в прямолинейное движение подвижных контактов. Подвижные контакты каждой фазы состоят из медной шины.

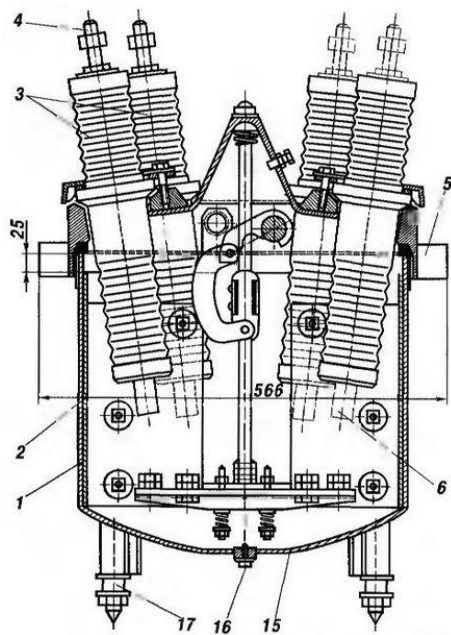


Рисунок 2.3 – Конструкция бакового масляного выключателя.

В маломасляных выключателях масло не служит изоляцией от заземленных частей, а является лишь дугогасящей средой и изоляцией между разомкнутыми контактами.

Конструкция маломасляного выключателя приведена на рисунке 2.4 и представляет собой отдельные бачки 1 для каждой фазы. В нижней части стальной рамы 3 укреплены три опорных двойных фарфоровых изолятора 2. В верхней части рамы на двух чугунных подшипниках установлен вал 10 с приваренными к нему тремя двуплечими рычагами 8, к коротким плечам крайних рычагов вала присоединены две пружины 5, работающие на растяжение; при отключении эти пружины сообщают требуемую скорость подвижных контактов выключателя и удерживают их в отключенном положении. Смягчение ударов в механизме выключателя осуществляется масляным буфером 6. Подвижные токоведущие стержни 4 подвешены к длинным плечам рычагов вала выключателя посредством фарфоровых тяг 7. Управление выключателем осуществляется приводом.

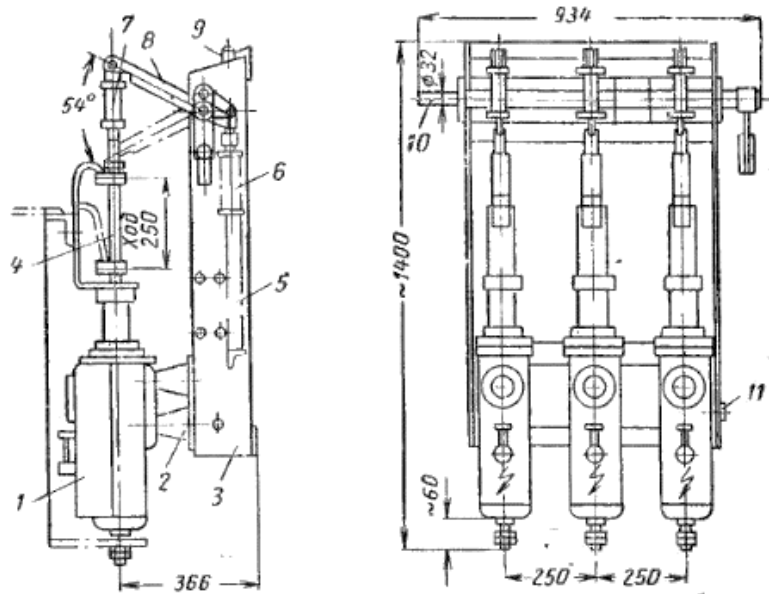


Рисунок 2.4 – Конструкция маломасляного выключателя.

Масляные выключатели имеют ряд недостатков: ограниченное количество операций; взрыво- и пожароопасность аппаратов; трудность осуществления подогрева масла.

Выключатели с электромагнитным гашением дуги имеют преимущества перед масляными выключателями, они пожаро- и взрывобезопасны, не требуют масла или другой дугогасящей среды, имеют меньшее обгорание контактов.

На рисунке 2.5 представлен электромагнитный выключатель, состоящий из сварного основания, пружинного привода, трех полюсов, трех съемных дугогасительных камер, изоляционного кожуха. Разъемные подвижные контакты главной цепи бывают розеточного и плоского пальцевого вида.

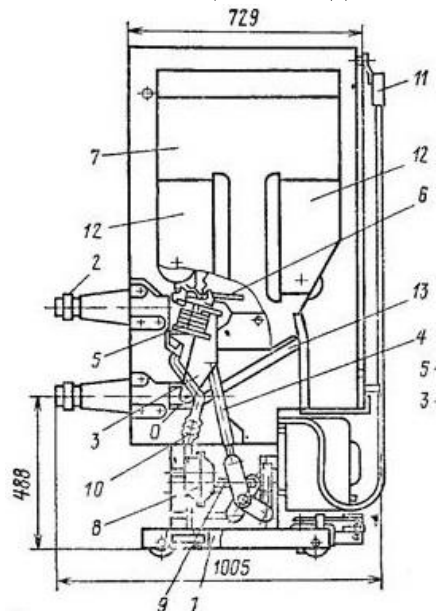


Рисунок 2.5 – Конструкция электромагнитного выключателя.

Три полюса выключателя смонтированы на выкатной тележке 1. При перемещении тележки влево пальцевый контакт 2 соединяется с медной шиной комплектного распределительного устройства (КРУ). Подвижный контакт 3 выключателя имеет вращательное движение относительно точки О и приводится в действие изоляционной штангой 4, соединенной с механизмом выключателя. Разрывной контакт полюса имеет главные пальцевые контакты 5 и дугогасительные 6, расположенные над главными контактами. Дугогасительное устройство выключателя 7 расположено над контактной системой. Для улучшения гашения малых токов выключатель имеет устройство воздушного дутья 8, которое приводится в действие тягой 9, соединенной с механизмом привода выключателя. При отключении выключателя в дутьевом устройстве создается сжатый воздух, который протекает по трубке 10 и воздействует на дугу, перемещая ее вверх и включая катушки магнитного дутья [11].

Теоретически и практически доказано, что самый простой способ гашения электрической дуги – в вакуумных выключателях, так как в вакуумных камерах практически отсутствует среда, проводящая электрический ток. В эксплуатации вакуумные выключатели также более просты, чем маломасляные или электромагнитные.

Вакуумная дугогасительная камера состоит из герметической стеклянной или керамической оболочки. Внутри камеры расположены электростатические экраны, подвижный и неподвижный контакты. Подвижный контакт укреплен в оболочке на металлическом сильфоне. Контакты имеют вид полых усеченных конусов с радиальными прорезями. Дугогасящие электроды представляют собой диски, разрезанные спиральными прорезями на три сектора. Контакты и дугогасящие электроды спаяны с медными вводами, один из которых – неподвижный, другой – подвижный [13]. На рисунке 2.6 изображена конструкция вакуумного выключателя.

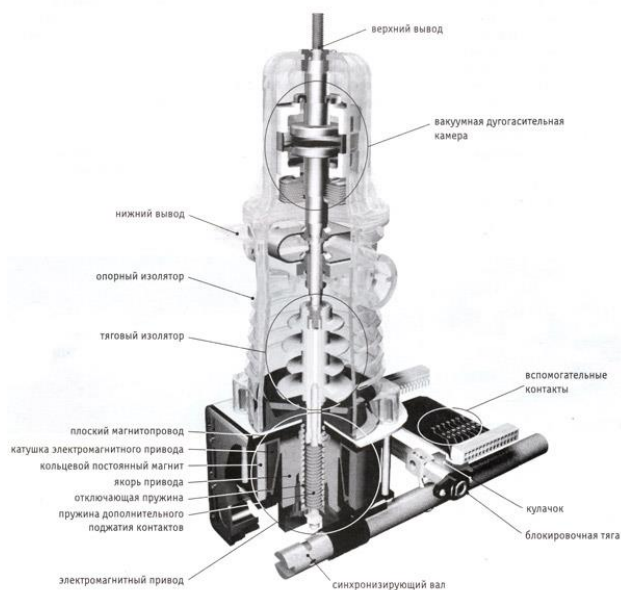


Рисунок 2.6 – Конструкция вакуумного выключателя.

Экранная система выполняет следующие функции: защищает внутренние изолирующие поверхности от осаждения продуктов эрозии контактов; задает распределение потенциалов внутри камеры.

Автоматические выключатели предназначены для нечастых размыканий и замыканий электрической цепи и длительного прохождения по ней тока, а также для автоматического размыкания цепей при появлении в них различных ненормальных условий; коммутация цепи происходит между механически перемещающимися контактами.

Автоматы делятся на небыстродействующие и быстродействующие. Быстродействующие характеризуются собственным временем срабатывания, то есть временем от появления тока короткого замыкания до начала расхождения контактов.

К небыстродействующим относятся автоматы, к которым обычно не предъявляются специальные требования по быстродействию или эти требования невысокие. Для удержания контактной системы во включённом положении в них применяются защёлки. Эти автоматы имеют собственное время срабатывания от 10 до 100 мс и не обладают токоограничивающим действием.

По конструктивному оформлению различают автоматы с пластмассовой крышкой и корпусом (на токи до 630А включительно) и автоматы без корпуса и крышки (на токи от 630 до 1000А включительно).

Быстродействующие автоматы, изготавливаемые на номинальные постоянные токи 1500-15000А, имеют собственное время отключения при больших токах не более 5 мс. Их характерная особенность – вся конструкция подчинена требованию повышения быстродействия.

На рисунке 2.7 изображен автоматический выключатель серии AR. Для гашения дуги над контактами выключателя установлены искрогасительные камеры. Обе шины автомата 1 на выводных концах снабжены вертикальными присоединительными флажками 4 и 5, которые позволяют выполнить непосредственное закрепление выдвижных контактов. Цепь дугогасительных контактов образуют два подвижных дугогасительных контакта 3, которые посредством гибких медных поясов присоединены к цепи главных контактов. Мгновенное отключение обеспечивает пружинный аккумулятор 8 посредством рычажной передачи и расцепляющего механизма 7. Включение автомата производится либо с помощью кнопки на лицевой панели, либо с помощью включающего электромагнита 17. Отключение также осуществляется с помощью кнопки красного цвета, либо с помощью электромагнита 18.

Натяжка аккумулятора осуществляется автоматически, после включения автомата, приводом 10. Вручную данную операцию можно осуществить посредством рычажной передачи 9 [14].

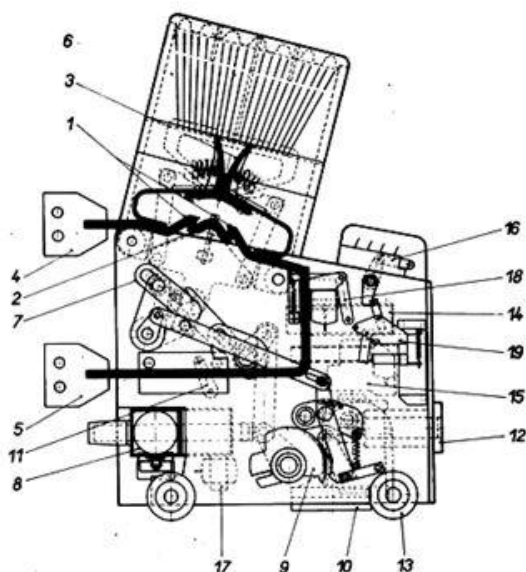


Рисунок 2.7 – Автоматический выключатель.

Разъединители на подстанциях используются для обеспечения видимого отключения, которое визуально показывает, что выведенное в ремонт оборудование отключено от напряжения.

Так как конструкция разъединителей не предусматривает наличия дугогасительных устройств, следовательно работа их должна осуществляться при полном обесточивании .

При помощи разъединителей также можно выполнять следующие операции:

- заземление и разземление нейтралей силовых трансформаторов;
- отключение и включение дугогасящих катушек при отсутствии в сети замыкания на землю;
- отключение и включение измерительных трансформаторов напряжения.

На рисунке 2.7 показаны трехполюсные разъединители вертикально-поворотного типа для внутренней установки. Три полюса разъединителей установлены на общей раме. Трехполюсные разъединители управляются рычажным приводом, однополюсные – оперативной изоляционной штангой [14].

Конструктивно вертикально-поворотный разъединитель состоит из рамы 1, опорных изоляторов 2, неподвижных контактов 3, ножей 4, фарфоровых тяг 5, рычага для присоединения привода 6, вала 7 и пружин 8.

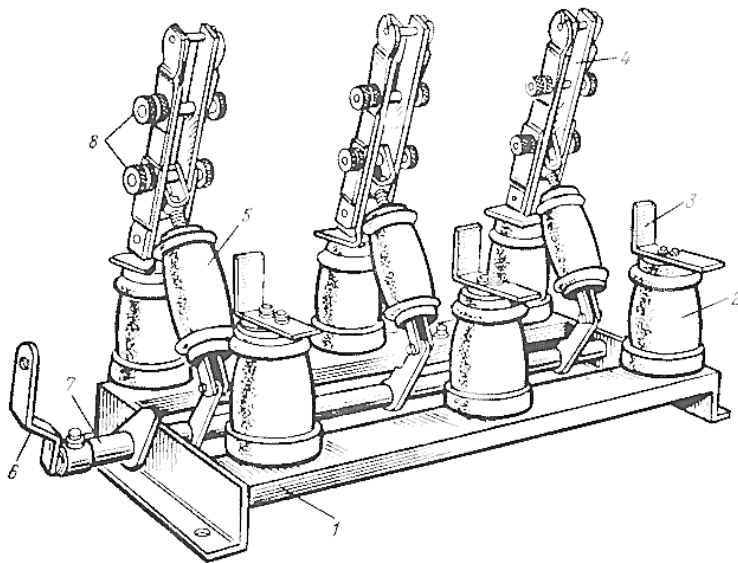


Рисунок 2.8 – Трехполюсный разъединитель вертикально-поворотного типа.

На рисунке 2.9 показаны трехполюсные разъединители качающегося типа наружной установки. Их устанавливают на опорах линий электропередачи. Управляются разъединители рычажным приводом, рукоятка которого размещается на высоте не менее 3 м [14].

Конструктивно трехполюсный разъединитель качающегося типа состоит из опорных изоляторов 1, неподвижных и подвижных контактов 2 и 3, рычага для гашения дуги 4, гибкой токопроводящей связи 5, качающегося изолятора 6 и ножа стационарного заземления 7.

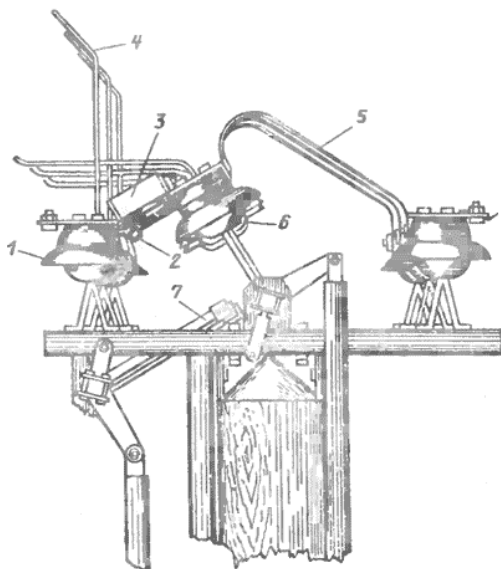


Рисунок 2.9 – Разъединитель трехполюсный качающегося типа.

Отделители предназначены для секционирования ответвлений от магистральных воздушных линий 6 – 10 кВ. Их устанавливают на опоре в начале ответвления от линии. Наличие отделителя на ответвлении не требует установки разъединителей для создания видимого разрыва при проведении ремонтных работ [14].

На рисунке 2.10 показана конструкция отделителя, состоящего из делителя напряжения 1, датчика тока 2, отделителя 3, вспомогательные пружины контактной системы 4, тяги от привода 5.

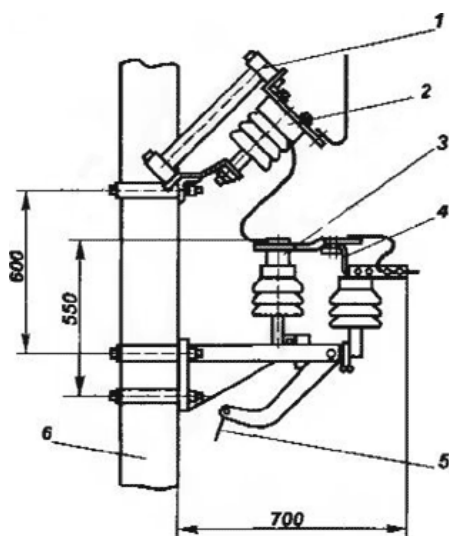


Рисунок 2.10 – Конструкция отделителя.

В качестве средств компенсации реактивной мощности применяются конденсаторные батареи, синхронные компенсаторы.

Статические конденсаторы получили на промышленных предприятиях наибольшее распространение как средство компенсации реактивной мощности. Основными их достоинствами являются:

- незначительные потери активной мощности;
- отсутствие вращающихся частей;
- более простая и дешевая эксплуатация;
- возможность увеличения или уменьшения установленной мощности в зависимости от потребности.

Конденсаторы могут изготавливаться как для наружных, так и для внутренних установок. По виду пропитки конденсаторы разделяются на конденсаторы с пропиткой минеральным маслом и конденсаторы с пропиткой синтетическим жидким диэлектриком.

Основными элементами конструкции конденсаторов является бак с изоляторами и выемная часть, состоящая из батареи секций простейших конденсаторов. Каждая секция состоит из двух металлических обкладок с выводами и изоляционных прокладок. Обкладки секций конденсаторов выполняются из алюминиевой фольги, а изолирующая прослойка из специальной конденсаторной бумаги, пропитанной жидким диэлектриком [15].

Синхронные компенсаторы представляют собой специальные синхронные машины, предназначенные только для выработки или потребления реактивной мощности. Так как они предназначены лишь для работы на холостом ходу, то их конструкция является облегченной по сравнению с другими синхронными машинами [16].

Конструкция синхронного компенсатора сходна с конструкцией генератора, но отличается от нее наличием дополнительной обмотки ротора и пусковых электрических устройств, благодаря которым компенсатор, включенный в сеть, может плавно повышать частоту вращения до номинальной [16].

На рисунке 2.11 изображена конструкция синхронного компенсатора, который состоит из камеры контактных колец 2, торцевого щита 3, корпуса 4, выводов обмотки статора 5, газоохладителей 6, рымлап 7.

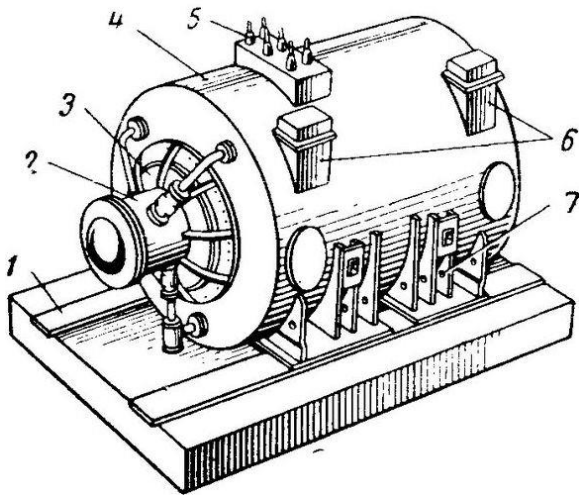


Рисунок 2.11 – Конструкция синхронного компенсатора

Конструктивно шкаф оперативного тока состоит из металлической несущей конструкции шкафного типа, предназначенной для установки на полу и размещённых внутри неё узлов.

Шкаф состоит из следующих основных комплектующих изделий: герметизированных аккумуляторных батарей, подзарядных устройств, автоматических выключателей, реле входного напряжения, реле контроля минимального и максимального напряжения, реле контроля изоляции, реле указательного, амперметров, вольтметра, реле контроля температуры, системы обогрева [9].

Силовые кабели состоят из одной, двух, трех или четырех изолированных токопроводящих жил 1, находящихся в герметичной защитной оболочке 5.

Токопроводящие жилы, медные или алюминиевые, могут быть однопроволочными и многопроволочными. Они изолируются друг от друга 2 и от оболочки 4. Изоляция жил выполняется из резины, пластмассы или чаще всего из пропитанной кабельной бумаги.

Защитная оболочка защищает изоляцию жил кабеля от влаги и воздуха и выполняется из свинца, алюминия, поливинилхлорида и негорючей резины. Для предохранения оболочки от повреждений при наложении брони и изгибах кабеля на нее накладывается защитный покров 6, пропитанный антикоррозийным битумным составом. Броня 7, выполняемая из ленточной стали или оцинкованной проволоки, играет роль защиты оболочки от внешних механических воздействий. Снаружи кабель защищен защитным покровом 8 на синтетической или битумной основе [17].

На рисунке 2.12 показана конструкция силового кабеля.

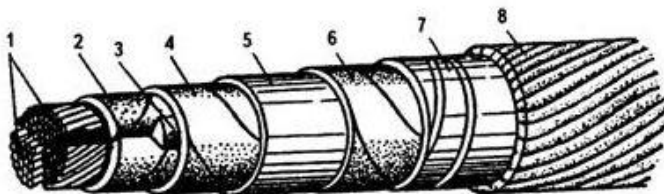


Рисунок 2.12 – конструкция силового кабеля.

В современных воздушных сетях напряжением 10 кВ используются неизолированные многопроволочные алюминиевые, стальные, сталеалюминевые провода. Основные конструкции этих проводов показаны на рисунке 2.13. Алюминиевые и сталеалюминевые провода являются многопроволочными, причем алюминиевые проволоки определяют электрические характеристики провода, а стальной сердечник обеспечивает механические характеристики. Многопроволочный сердечник состоит из стальных оцинкованных проволок

и покрывается слоем нейтральной смазки. Отношение сечений алюминия и стали характеризуется коэффициентом K_a [17].

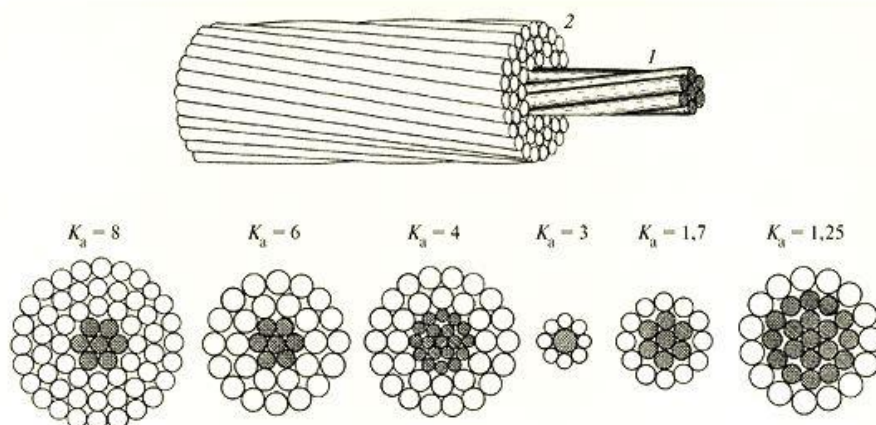


Рисунок 2.13 – Конструкция проводов для линий электропередачи.

Первичные цепи подстанций выполняют неизолированными шинами, преимущественно плоскими или профильными алюминиевыми, и сравнительно редко для ошиновки используют медные и стальные шины. Шины можно подразделить на сборные, ответвительные, соединительные, шинные мосты и переходы.

Сборные шины служат для приема электроэнергии от источников питания и дальнейшего распределения ее между потребителями. Ответвительные шины соединяют сборные шины с ближайшим аппаратом, соединительные – один аппарат с другим. Шинные мосты и переходы соединят между собой первичные цепи элементов распределительных устройств, расположенных отдельно, например, вдоль разных стен одного помещения или в разных помещениях [18].

В типовых трансформаторных подстанциях для учета на стороне 10 кВ применяются трансформаторы тока. Трансформаторы тока устанавливаются в камерах распределительного устройства на опорных металлических конструкциях и закрепляются болтами.

На рисунке 2.14 изображен проходной трансформатор тока с литой изоляцией. Он имеет сердечник 3, на верхних частях которого расположены катушки вторичных обмоток 5. Первичная обмотка 7 выполняется из изолированного провода или медной шины, витки которой изолируются между собой. Первичную и вторичную обмотки изолируют друг от друга, заливая эпоксидной смолой. Образующийся монолитный корпус 1 защищает обмотки от механических повреждений [2].

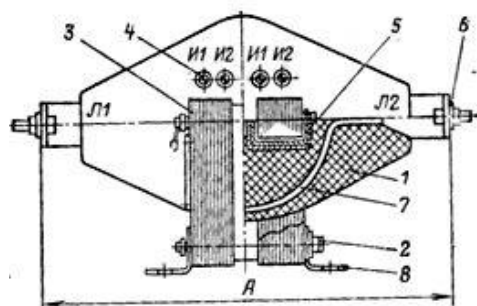


Рисунок 2.14 – Конструкция трансформатора тока.

Трансформатор напряжения по принципу выполнения ничем не отличается от силового понижающего трансформатора. Он состоит из стального сердечника, набранного из пластин листовой электротехнической стали, первичной обмотка и одной или двух вторичных обмоток [4].

Защитное заземление электрооборудования в проектах типовых подстанций принято общим с рабочим заземлением нулевых точек силовых трансформаторов на стороне низшего напряжения.

На рисунке 2.15 показан контур заземления типовой трансформаторной подстанции с одним трансформатором.

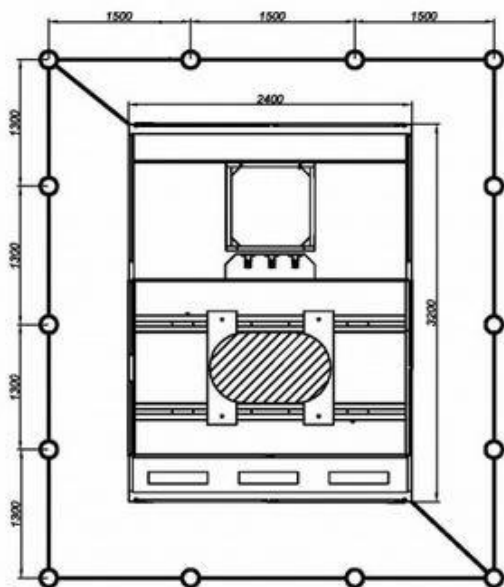


Рисунок 2.15 – Контур заземления трансформаторной подстанции.

Внутри подстанции полоса заземления прокладывается по стенам здания. Внутреннее заземление подстанции соединяется с наружным контуром не менее чем в двух местах. Участки полосы заземления соединяются между собой электросваркой внахлестку. Полоса заземления приваривается к заземлителю из угловой стали сбоку [19]. Распределительное устройство изготовлена из жести, покрытой антикоррозионным слоем сплава алюминия и цинка, что повышает коррозионную стойкость.

Испытание магнитопроводов. Проверка токоведущим частям и контактными соединениями. Оценка состояния изоляции. Вывод о состоянии электрооборудования по итогам наладки и испытания. Оформление протоколов наладки и испытания.

2. Силовые трансформаторы

На испытания постоянному току очень существенно влияет температура объекта измерения. **Измерения сопротивления обмоток постоянному току** измеряют при помощи омметра, амперметра и вольтметра, одинарного моста, двойного моста, потенциометра.

Определение сопротивления омметром. Он является непосредственным методом измерения, наименее точный из всех перечисленных, чаще всего его применяют при приближенных предварительных измерениях.

Измерение сопротивления с помощью амперметра и вольтметра является косвенным методом определения сопротивления, он основан на измерении тока, протекающего через сопротивление, и падение напряжения на нем [20]. На рисунке 2.1 приведены два варианта схемы включения приборов. Схема «а» применяют при измерении малых сопротивлений. Измерение сопротивления можно точно рассчитать по формуле:

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_B}}, \text{ Ом} \quad (3.1)$$

где R_B – сопротивление вольтметра.

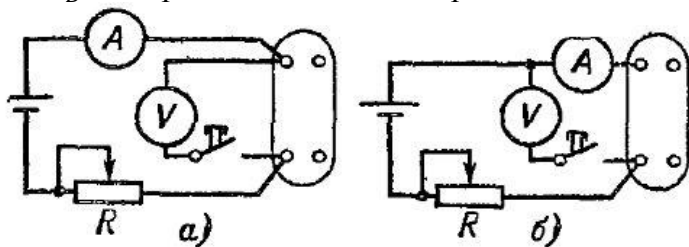


Рисунок 2.2.16 – Схема включения амперметра и вольтметра.

Схему «б» применяют при измерении больших сопротивлений, для которых справедливо выражение:

$$R = \frac{U - I \cdot R_A}{I}, \text{ Ом} \quad (2.1)$$

где R_A – сопротивление амперметра.

Измерение сопротивления с помощью одинарного моста.

Принципиальная схема одинарного моста приведена на рисунке 3.2. Результаты измерения при помощи одинарного моста получаются надежные и точные.

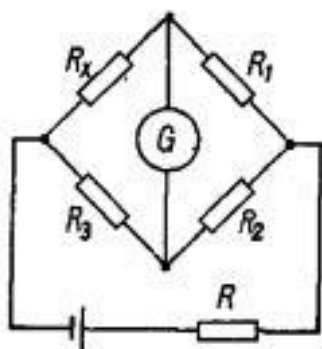


Рисунок 2.17 – Схема одинарного моста.

Основное соотношение одинарного моста:

$$R_x = R_3 \cdot \frac{R_1}{R_2}, \text{ Ом} \quad (2.3)$$

где R_x – измеряемое сопротивление;

R_1, R_2, R_3 – сопротивление плеч моста, при которых наступает его равновесие (стрелка гальванометра устанавливается на нулевой отметке).

Измерение сопротивления с помощью двойного моста.

Как правило, измерение сопротивления меньше 1 Ом с помощью одинарного моста не дает достаточно точного результата из-за влияния сопротивления соединительных проводов и переходных контактов. Этот недостаток устраняется при использовании двойного моста [21].

Принципиальная схема двойного моста приведена на рисунке 2.18.

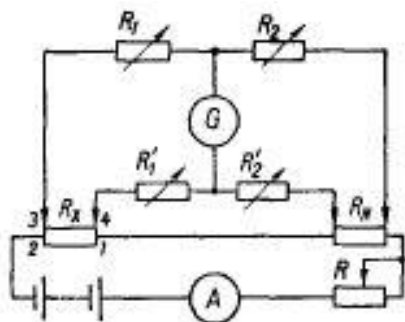


Рисунок 2.18 – Схема двойного моста.

Изменением сопротивления R_1, R_2, R_1' и R_2' гальванометр устанавливают на нуль. При этом сохраняются равенства $R_1 = R_1'$ и $R_2 = R_2'$

Уравнение равновесия моста:

$$R_x = R_N \cdot \frac{R_1}{R_2}, \text{ Ом} \quad (2.4)$$

где R_N – образцовое сопротивление, составная часть моста.

Измерение сопротивления с помощью потенциометра.

Этот способ можно применять при измерении малых сопротивлений. Она заключается в том, что последовательно с измеряемым сопротивлением включают образцовое сопротивление R_N , близкое по значению к измеряемому. Через оба сопротивления пропускают постоянный ток и с помощью потенциометра определяют падения напряжения на образцовом и на измеряемом сопротивлениях.

Принципиальная схема измерения сопротивления с помощью потенциометра приведена на рисунке 2.19.

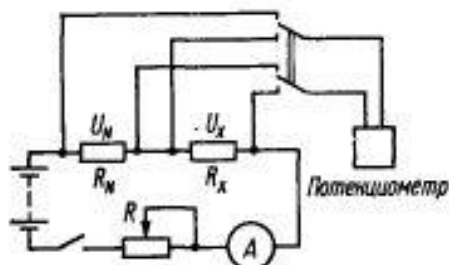


Рисунок 2.19 – Схема измерения сопротивления с помощью потенциометра.

Измеряемое сопротивление находится по выражению:

$$R_x = R_N \cdot \frac{U_x}{U_N}, \text{ Ом} \quad (2.5)$$

где U_x и U_N – падение напряжения соответственно на измеряемом и образцовом сопротивлении.

После проведения испытания полученные данные заносятся в протокол испытаний. Пример протокола измерения сопротивления обмоток постоянному току изображен в таблице 2.2.1

Таблица 2.2.1 – Протокол измерения сопротивления обмоток постоянному току.

Наименование обмоток			ВН					НН	
Положение переключателя			I	II	III	IV	V		
Сопротивление, Ом	Фазы	A - B						a - 0	
		B - C						b - 0	
		C - A						c - 0	
Максимальное расхождение между фазами, %									

При **измерении сопротивления изоляции** отсчёт показаний мегаомметра производят каждые 15 секунд и результатом считается сопротивление, отсчитанное через 60 секунд после начала измерения, а отношение показаний R_{60}/R_{15} считается коэффициентом абсорбции.

Испытуемую обмотку трансформатора закорачивают, а свободную обмотку закорачивают и дополнительно подключают к заземлению для исключения обратной трансформации испытательного напряжения от мегаомметра. Схема измерения сопротивления изоляции силовых трансформаторов представлена на рисунке 2.20

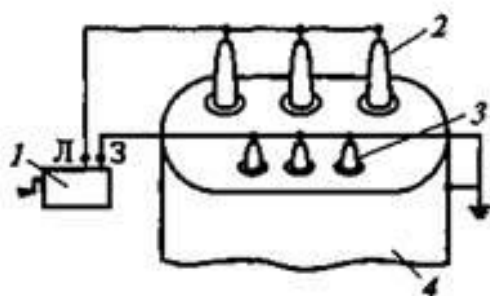


Рисунок 2.20 – Схема измерения сопротивления изоляции силовых трансформаторов.

На рисунке 2.5 изображены: 1 – мегаомметр, 2 – выводы обмоток высшего напряжения, 3 – выводы обмоток низшего напряжения, 4 – корпус силового трансформатора.

Пример протокола измерения сопротивления изоляции силовых трансформаторов приведен в таблице 2.2

Таблица 2.2.2 – Протокол измерения сопротивления изоляции силовых трансформаторов

Схема измерений	Результаты измерений при темп. _____°C		Результаты измерений R^{60} МОм, приведенные к заводской темп. _____°C	Заводские данные R^{60} , МОм
	R^{15} , МОм	R^{60} , МОм		
ВН – НН				
НН – ВН				

Испытание изоляции повышенным напряжением позволяет убедиться в наличии необходимого запаса прочности изоляции, отсутствии дефектов, не обнаруживаемых другими способами. В зависимости от вида оборудования и характера испытания изоляция может быть испытана приложением повышенного напряжения переменного тока или выпрямленного напряжения [21].

Продолжительность испытания переменным напряжением принято равным 1 мин. для главной изоляции и 5 мин. для межвитковой. При приложении выпрямленного напряжения время испытания более продолжительно и нормируется в пределах 10 – 15 мин. Во время испытания ведется контроль за показаниями вольтметра и амперметра.

На рисунке 2.6 и 2.7 приведены схемы испытания изоляции переменным и постоянным током.

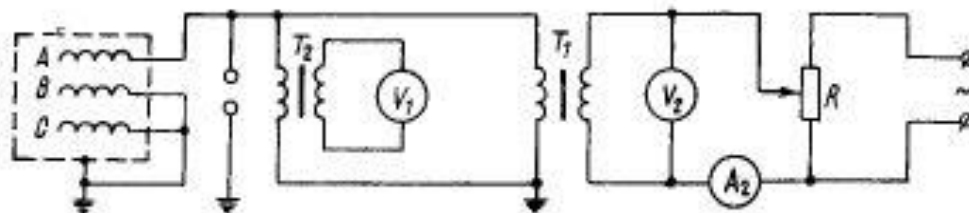


Рисунок 2.21 – Схема испытания изоляции переменным напряжением.

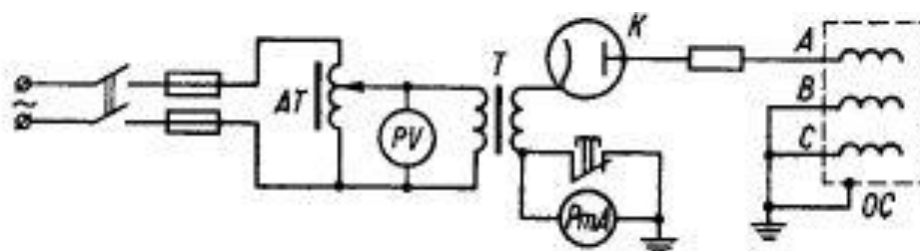


Рисунок 2.22 – Схема испытания изоляции выпрямленным напряжением.

Изоляция считается выдержавшей испытание повышенным напряжением в том случае, если не было пробоев, частичных разрядов, выделения газа и дыма, резкого снижения напряжения и возрастания тока через изоляцию.

Пример протокола испытания повышенным напряжением силовых трансформаторов приведен в таблице 2.2

Таблица 2.2.3 – Протокол испытания повышенным напряжением силовых трансформаторов

Схема испытания	Испытательное напряжение, кВ.	Время испытания, мин.	Результат испытания
ВН-НН+бак			
НН-ВН+бак			

Коэффициент трансформации силовых трансформаторов определяется для проверки соответствия паспортным данными и правильности подсоединения ответвлений обмоток к переключателям.

В практике наладочных работ метод двух вольтметров. По этому методу к одной из обмоток трансформатора подводится напряжение и двумя вольтметрами одновременно измеряется подводимое напряжение и напряжение на другой обмотке трансформатора. Подводимое напряжение не должно превышать номинальное и в то же время должно составлять не менее 1% номинального напряжения. Для трехфазных трансформаторов измерения можно проводить при трехфазном и однофазном возбуждении. При использовании трехфазных трансформаторов измеряют линейные напряжения на одноименных зажимах обеих обмоток. Если возможно измерить фазные напряжения, то коэффициент трансформации можно определить по фазным напряжениям одноименных фаз. При однофазном возбуждении трансформатора с соединением обмоток звезда-треугольник коэффициент трансформации измеряют поочередным закорачиванием одной из фаз, соединенных в треугольник [20].

Коэффициент трансформации определяется по формулам:

$$k_{1\phi} = \frac{U_{AB}}{2 \cdot U_{ab}}, k_{2\phi} = \frac{U_{BC}}{2 \cdot U_{bc}}, k_{3\phi} = \frac{U_{AC}}{2 \cdot U_{ac}} \quad (2.6)$$

где $k_{1\phi}, k_{2\phi}, k_{3\phi}$ – фазные коэффициенты трансформации;

$U_{AB}, U_{BC}, U_{AC}, U_{ab}, U_{bc}, U_{ac}$ – измеренные напряжения на обеих обмотках трансформатора.

При однофазном возбуждении трансформатора с соединением обмоток звезда с нулевым выводом – треугольник напряжение подводится поочередно к каждой фазе, при этом не нужно закорачивать фазы [20]. В этом случае определяется фазный коэффициент трансформации:

$$k_{1\phi} = \frac{U_{AO}}{2 \cdot U_{ab}}, k_{2\phi} = \frac{U_{BO}}{2 \cdot U_{bc}}, k_{3\phi} = \frac{U_{CO}}{2 \cdot U_{ac}} \quad (2.7)$$

Схемы измерения коэффициентов трансформации однофазных трансформаторов и трехфазных трансформаторов с различными схемами соединения обмоток приведены на рисунке 2.8

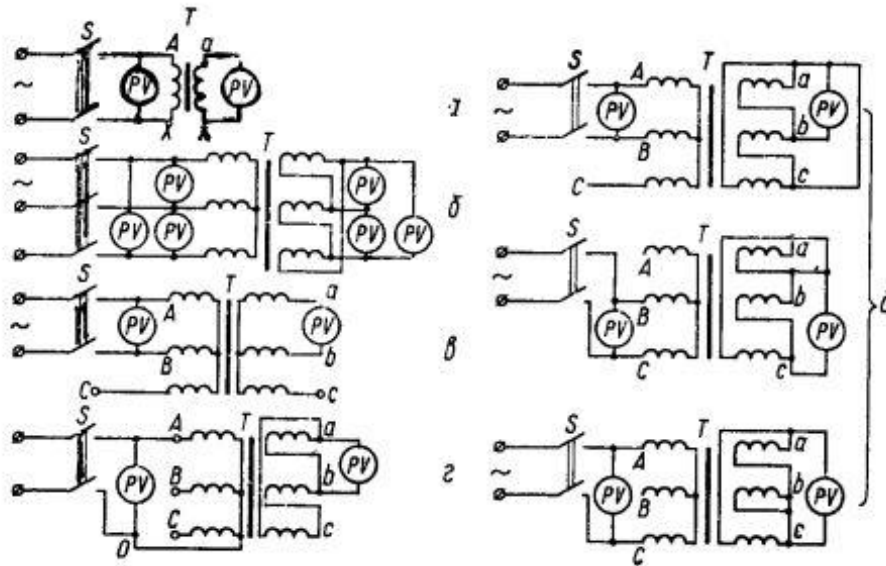


Рисунок 2.23 – Схемы измерения коэффициентов трансформации.

Пример протокола измерения коэффициента трансформации силовых трансформаторов приведен в таблице 2.4

Таблица 2.2.4 – Протокол измерения коэффициента трансформации силовых трансформаторов.

Положе-ние переключателя	AB/ав		Коэф. тр-ции	BC/вс		Коэф. тр-ции	CA/са		Коэф. тр-ции
	Напряжение			Напряжение			Напряжение		
	A-B	a-в		B-C	в-с		C-A	с-а	
I									
II									
III									
IV									
V									

Для фазировки трансформаторов применяются вольтметр. Фазировка производится на стороне низшего напряжения. На рисунке 4.9 показана схема соединения вольтметра с трансформаторами.

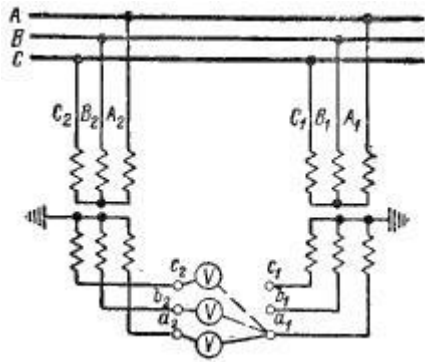


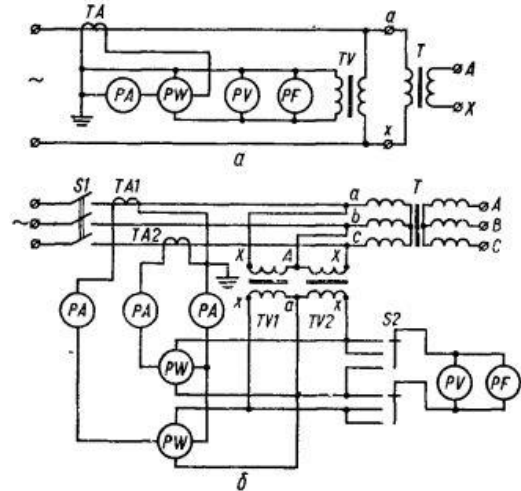
Рисунок 2.24 – Фазировка силовых трансформаторов.

После включения обоих трансформаторов со стороны высшего напряжения проверяют вольтметром поочередно между собой выводные концы обоих трансформаторов со стороны 0,4 кВ.

Те выводы обоих трансформаторов, между которыми измерения вольтметром покажут нуль, являются одноименными.

Для определения потерь и тока холостого хода применяют опыт холостого хода. При опыте холостого хода к одной из обмоток трансформатора, обычно низкого напряжения, при разомкнутых остальных обмотках подводят номинальное напряжение номинальной частоты практически синусоидальной формы и симметричное при испытании трехфазных трансформаторов [20].

На рисунке 2.9 изображена схема включения приборов при проведении опыта холостого хода



для однофазного и трехфазного трансформаторов.

Рисунок 2.25 – Схема включения приборов при проведении опыта холостого хода для однофазного и трехфазного трансформаторов.

Ток холостого хода определяется в процентах от номинального:

для однофазных трансформаторов

$$I_0 = \frac{I_{\text{изм}}}{I_{\text{ном}}} \cdot 100, \% \quad (2.6)$$

для трехфазных трансформаторов

$$I_0 = \frac{I_A + I_B + I_C}{3 \cdot I_{\text{ном}}} \cdot 100, \% \quad (2.6)$$

В трехфазных трансформаторах токи холостого хода различных фаз за счет различной длины пути потока каждой фазы несколько различаются. Ток средней фазы обычно на 20 – 35% меньше тока крайних фаз [20].

Потери холостого хода:

в однофазном трансформаторе

$$P_0 = P_{ст} + I_0^2 \cdot R_{\Phi}; \quad (2.6)$$

в трехфазном трансформаторе

$$P_0 = P_{ст} + 3 \cdot I_0^2 \cdot R_{\Phi}; \quad (2.6)$$

где R_{Φ} – фазное сопротивление обмотки постоянному току; $P_{ст}$ – потери в стали; $I_0^2 \cdot R_{\Phi}$ и $3 \cdot I_0^2 \cdot R_{\Phi}$ – потери в меди.

Пример протокола определения потерь и тока холостого хода силовых трансформаторов приведен в таблице 2.2.5

Таблица 2.2.5 – Протокол определения потерь и тока холостого хода силовых трансформаторов

№ опыта	Подано напряжение на обмотку НН, В	Закорачивается обмотка НН фазы	Ток х. х, А	Потери х. х. Вт, %
1	а-в (I_1 - I_2)....., В	С (L_1)		
2	в-с (I_2 - I_3)....., В	А (L_2)		
3	а-с (I_2 - I_3)....., В	В (L_3)		

3. Выключатели

Измерение сопротивления силовых частей выключателей производится по схеме, представленной на рисунке 2.26

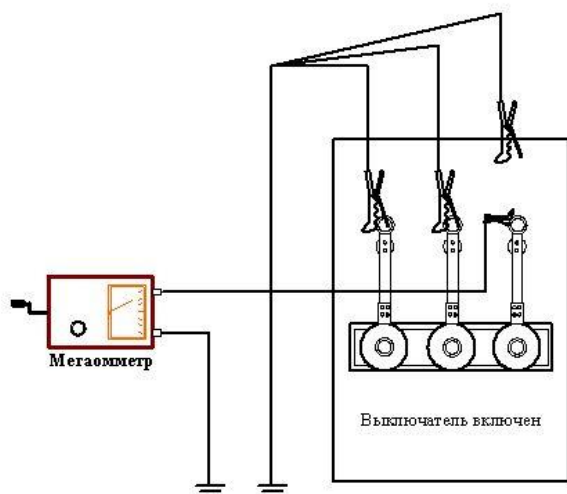


Рисунок 2.26 – Измерение сопротивления силовых частей выключателей.

Измерение производится относительно земли и двух других заземленных фаз.

Выключатель включается, все фазы заземляются, к одной фазе выключателя подключается мегаомметр. Заземление с этой фазы выключателя снимается, производится измерение сопротивления изоляции. Затем заземление восстанавливается, мегаомметр переключается на другую фазу выключателя. Производятся аналогичные операции для всех фаз последовательно. Всё время проведения измерений выключатель остаётся включенным.

Сопротивление изоляции электромагнитов управления производят в зависимости от внутренней схемы привода выключателя. Измерение производится относительно земли на одном из полюсов электромагнитов (электромагнита), при этом целостность катушки проверяется отдельно путём

Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты. Испытание производится в два этапа – сначала производится пофазное испытание основной изоляции выключателя, затем производится испытание выключателя «на разрыв».

Для проведения испытания основной изоляции выключатель, также как и в опыте измерения сопротивления изоляции, включается, все фазы заземляются.

Подготавливается испытательная установка, подключается к испытательному объекту. Снимается установленное ранее заземление. Производится плавное поднятие напряжения до необходимого уровня (напряжение поднимается скачком до 1/3 необходимой величины, затем увеличение производится плавно со скоростью 1-2кВ в секунду вплоть до необходимого уровня испытательного напряжения), напряжение выдерживается в течение 1 минуты, и, затем, плавно понижается до нуля. На испытанную фазу выключателя устанавливается заземление, испытательная установка отсоединяется и подключается к следующей фазе.

На рисунке 2.12 показана схема проведения испытания основной изоляции выключателя.

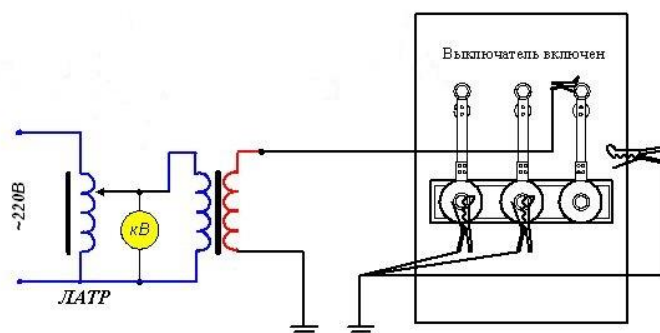


Рисунок 2.27 – Испытания повышенным напряжением промышленной частоты основной изоляции выключателя.

Для проведения испытания выключателя «на разрыв» собирается аналогичная схема, только в этом случае выключатель отключён, фаза объединены, с одной стороны установлено заземление, а на другую сторону выключателя подаётся испытательное напряжение.

Смысл испытания выключателя «на разрыв» – проверка состояния камеры выключателя. Во время проведения испытания возможны искровые пробои в камере, в этом случае необходимо плавно снизить испытательное напряжение до момента прекращения пробоев, выждать 3-4 минуты, а, затем, снова продолжить испытание с требуемой величиной напряжения.

Пример протокола испытание изоляции повышенным напряжением выключателей приведен в таблице 2.2.6

Таблица 2.2.6 – Протокол испытание изоляции повышенным напряжением

Схема испытания	Испытательное напряжение, кВ.	Время испытания, мин.	Результат испытания
Фаза 1			
Фаза 2			
Фаза 3			
«На разрыв»			

Измерение хода в контактах (вжим). Выключатель включают вручную до легкого соприкосновения подвижных контактов с неподвижными. На изолирующей штанге направляющей трубы делается карандашом первая отметка, соответствующая этому положению. Выключатель доводится до положения «включено», и на изолирующей штанге снова делается отметка, соответствующая его новому положению. Это расстояние между отметками и будет соответствовать ходу в контактах (вжиму). Значение полного хода

контактной траверсы будет представлять сумму двух величин хода контактной траверсы и хода в контактах.

Проверка одновременности замыкания контактов одной и всех фаз выключателя производится при использовании трех ламп и батарейки. Плюс батарейки подсоединяют к нижним выводам выключателя, а минус ее – к его подвижным контактам. Момент соприкосновения определяется по загоранию лампочки при медленном включении выключателя. Разновременность замыкания по фазам должна быть не больше данных, приведенных в паспорте выключателя.

Проверка временных характеристик выключателей производится при номинальном напряжении оперативного тока. Используя секундомер, который подключают на силовые контакты выключателя, засекают время включения выключателя после подачи сигнала от ключа. При этом ключ должен одновременно подать сигнал на пуск секундомера и на включения выключателя.

Пример протокола проверки временных характеристик выключателей приведен в таблице 2.2.7

Таблица 2.2.7 – Протокол проверки временных характеристик выключателей.

Характеристика	Норма	Фаза А	Фаза В	Фаза С
Время отключения, с				
Время включения, с				

4. Разъединители и отделители

В соответствии с требованиями ПУЭ полностью собранные и отрегулированные разъединители и отделители всех классов напряжений испытываются в следующем объеме

Измерение сопротивления изоляции для поводков и тяг, выполненных из органических материалов, многоэлементных изоляторов, вторичных цепей и обмоток электромагнитов управления производится мегаомметром на напряжении 2500 В.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции разъединителей, отделителей

Изоляция, состоящая из одноэлементных опорных или опорно-стержневых изоляторов, испытывается согласно таблице 2.2.8.

Таблица 2.2.8 – Испытательное напряжение промышленной частоты для внешней изоляции аппаратов

Класс напряжения, кВ.	Испытательное напряжение, кВ, для аппаратов с изоляцией			
	нормальной керамической	нормальной из органических материалов	облегченной керамической	облегченной из органических материалов
10	42	37,8	32	28,8

Изоляция, состоящая из многоэлементных штыревых изоляторов, подвергается испытанию напряжением 50 кВ, прикладываемым к каждому склеенному элементу изолятора.

Время испытания для керамических (фарфоровых) изоляторов - 1 мин, для твердой органической изоляции - 5 мин.

Изоляции вторичных цепей и обмоток электромагнитов управления проводится напряжением 1 кВ промышленной частоты в течение 1 мин со всеми присоединенными аппаратами защиты, управления и сигнализации.

Образец протокола испытания разъединителей и отделителей повышенным напряжением приведен в таблице 2.2.9

Таблица 2.2.9 – Протокол испытания разъединителей и отделителей повышенным напряжением

Вид изоляции	Испытательное напряжение, кВ.	Время испытания, мин.	Результат испытания

Измерение сопротивления контактов постоянному току производится методом амперметр-вольтметр, измерением сопротивления омметром и методом одинарного и двойного моста.

Измерение значения сопротивления обмоток должен соответствовать данным заводо-изготовителей.

Пример протокола измерения сопротивления контактов постоянному току приведен в таблице 2.2.10

Таблица 2.2.10 – Протокол измерения сопротивления контактов постоянному току

Фаза ножей	A	B	C	Норма
Сопротивление (мкОМ)				

5. Конденсаторные батареи

Измерение сопротивления изоляции конденсаторов производится при закороченных выводах конденсатора относительно корпуса мегаомметром на напряжении 2500 В.

Измерение сопротивления разрядного резистора конденсаторов производится с применением моста по схеме, приведённой на рисунке 2.28, поочередно для каждой из фаз конденсатора.

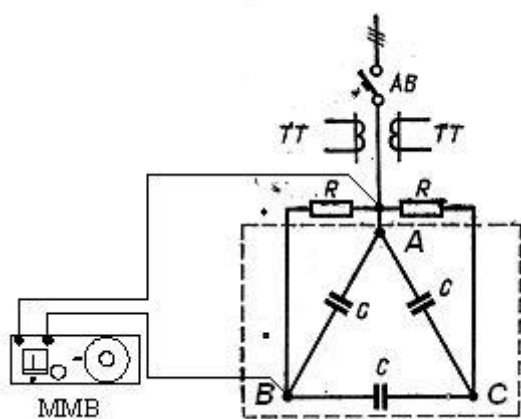


Рисунок 2.28 – Схема измерения разрядного резистора конденсаторов.

При измерении сопротивления резистора в фазах А-В и А-С сопротивление резистора принимается равным показанию прибора, а при измерении сопротивления фаз В-С сопротивление резистора равно показанию прибора делённому на два.

Пример протокола испытания разрядного резистора конденсатора представлен в таблице 2.11.

Таблица 2.2.11 – Пример протокола испытания разрядного резистора конденсатора

	Фаза А-В	Фаза А-С	Фаза В-С
Сопrotивление резистора			

Для измерения емкости конденсатора используют метод моста, амперметра и вольтметра. Измерение емкости конденсаторов, соединенных в треугольник проводят три раза [20]. Последовательность измерения емкости конденсатора производят по схемам на рисунке 2.14

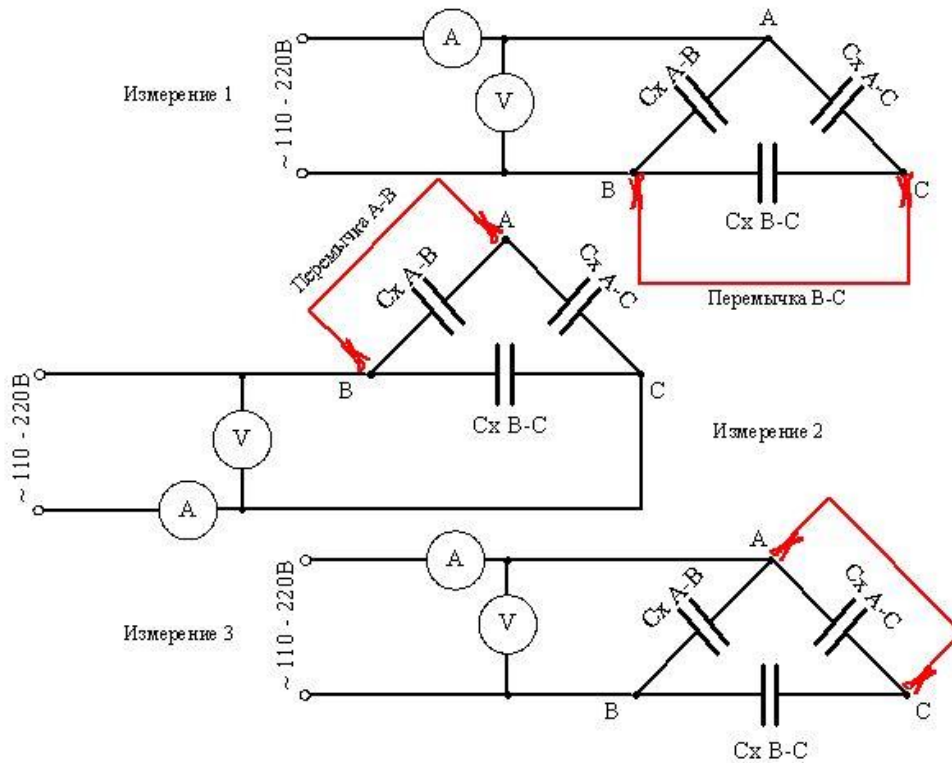


Рисунок 2.29 – Схема измерения емкости трехфазного конденсатора.

Емкость каждой фазы определяется по формулам:

$$C_{BC} = \frac{(C_{X_{AB}} + C_{X_{BC}} - C_{X_{AB}})}{2}, \quad (2.7)$$

$$C_{AB} = \frac{(C_{X_{AB}} + C_{X_{BC}} - C_{X_{AC}})}{2}, \quad (2.8)$$

$$C_{AC} = \frac{(C_{X_{AB}} + C_{X_{AC}} - C_{X_{BC}})}{2}. \quad (2.9)$$

Полная ёмкость конденсатора определяется по формуле:

$$C = \frac{(C_{AB} + C_{AC} + C_{BC})}{3}. \quad (2.10)$$

Ёмкости отдельных фаз не должны отличаться более чем на 5%.

Образец протокола измерения емкости конденсатора приведен в таблице 2.12.

Таблица 2.2.12 – Протокол измерения емкости конденсатора

№ п.п.	Паспортные данные				Определение емкости батареи							
	Заводской номер	Емкость, (мкФ)	Мощность, (кВАр)	До испытания повышенным напряжением			После испытания повышенным напряжением					
				L1	L2	L3	L1	L2	L3			

				Емкость, (мкФ)	Емкость, (мкФ)	Емкость, (мкФ)	Емкость, (мкФ)	Емкость, (мкФ)	Емкость, (мкФ)
		0							

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты производится по схеме на рисунке 2.15. Выводы конденсатора закорачиваются, и испытание производится относительно земли.

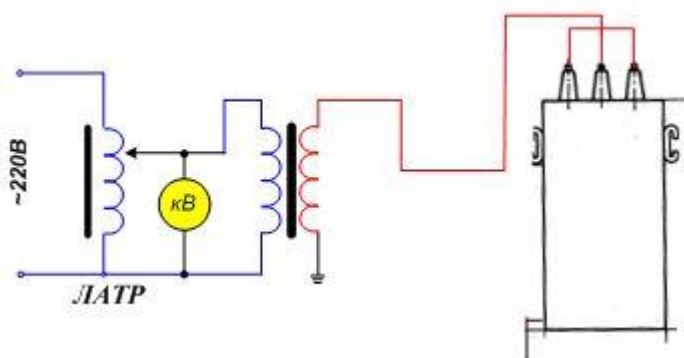


Рисунок 2.30 – Схема испытания конденсатора повышенным напряжением.

Продолжительность приложения напряжения 1 мин. Изоляция силовых конденсаторов с одним выводом, соединенным с корпусом, не подвергается испытанию повышенным напряжением промышленной частоты относительно корпуса.

Если нет источника напряжения достаточной мощности, испытания напряжением переменного тока можно заменить испытаниями выпрямленным напряжением удвоенного значения.

6. Аккумуляторные батареи

В качестве источников постоянного оперативного тока в электроустановках применяются аккумуляторы с устройствами постоянного подзаряда.

Измерение сопротивления изоляции производится с помощью мегаомметра на полностью отключенной от всех источников и потребителей аккумуляторной батарее.

Измерение производится относительно крайних выводов «+» и «-» батареи и корпуса стеллажа или шкафа. Схема измерения сопротивления изоляции представлена на рисунке 2.16.

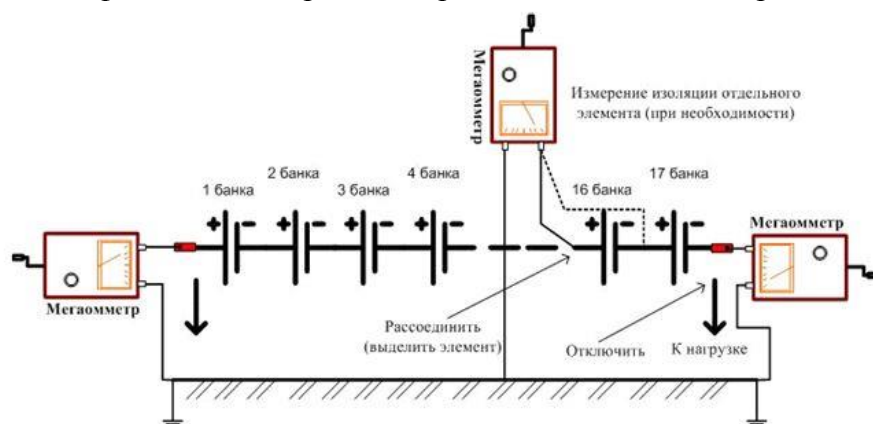


Рисунок 2.31 – Схема измерения сопротивления изоляции аккумуляторов.

Если результаты измерения сопротивления изоляции всей батареи окажутся неудовлетворительными необходимо разобрать соединения между банками и, измеряя сопротивление изоляции каждой банки относительно корпуса, определить повреждённую (или повреждённые). Неисправную банку необходимо тщательно осмотреть – возможно ухудшение изоляции связано с образованием токопроводящих плёнок, что можно устранить тщательной протиркой корпуса банки [22].

Проверка емкости батареи. Аккумуляторная батарея заряжается до получения напряжения элемента, в течение 1 ч, равного 2,6—2,75 В, и возникновения сильного выделения газов на всех пластинах.

Через 30 мин после окончания заряда производится контрольный разряд током 3- или 10- часового режима для кислотных и 8- часового режима для щелочных аккумуляторов.

Разряд ведется на нагрузочное сопротивление или на зарядный генератор, переводимый в двигательный режим снижением тока возбуждения.

Во время контрольного разряда ежечасно измеряют: напряжение на зажимах каждого элемента и всей батареи; разрядный ток, плотность электролита в элементах, температуру электролита в контрольных элементах. Разряд ведется до снижения напряжения на зажимах элемента до 1,8 В.

Если хотя бы на одном элементе напряжение окажется ниже 1,8 В, разряд должен быть прекращен. Полученная в результате контрольного разряда емкость батареи должна соответствовать данным завода-изготовителя [22].

Все значения, полученные при измерении на каждом элементе, заносятся в протокол. Пример протокола изображен в таблице 2.13.

Таблица 2.2.13 – Протокол измерения емкости аккумуляторных батарей.

Номер банки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение в начале разряда (В)									
Напряжение в конце разряда (В)									
Снятая ёмкость (Ач)									
Номер банки	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Напряжение в начале разряда (В)									
Напряжение в конце разряда (В)									
Снятая ёмкость (Ач)									

Испытание повышенным напряжением источников оперативного тока проводится с применением обычных схем испытательных установок.

На время испытания все цепи с низковольтными элементами или элементами электроники исключаются из схемы и напряжение подаётся только на силовые и разделительные трансформаторы, а также выходные цепи оперативного тока.

Проверка плотности и температуры электролита в каждой банке. Плотность электролита в конце заряда должна находиться в пределах 1,2—1,21 в элементах с пластинами поверхностной конструкции и 1,24 в элементах с панцирными пластинами; температура — не выше +40 °С.

Плотность электролита в конце контрольного разряда батареи должна быть не менее 1,145 в элементах с пластинами поверхностной конструкции и не менее 1,185 в элементах с панцирными пластинами [22].

Таблица 2.2.14 – Протокол проверки плотности и температуры электролита.

Номер банки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Плотность электролита в конце зряда, г/см ³									
Плотность электролита в конце разряда, г/см ³									
Температура электролита, °С									
Номер банки	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Плотность электролита в конце зряда, г/см ³									
Плотность электролита в конце разряда, г/см ³									
Температура электролита, °С									

7. Силовые кабели

Основной проверкой силовых кабелей является проверка состояния изоляции. **Сопротивление изоляции** $R_{из}$ измеряется мегаомметром. Изоляция кабелей на напряжение до и выше 1 кВ считается удовлетворительной, если $R_{из} \geq 0.5 \text{ Мом}$. Схема измерения сопротивления изоляции приведена на рисунке 2.17

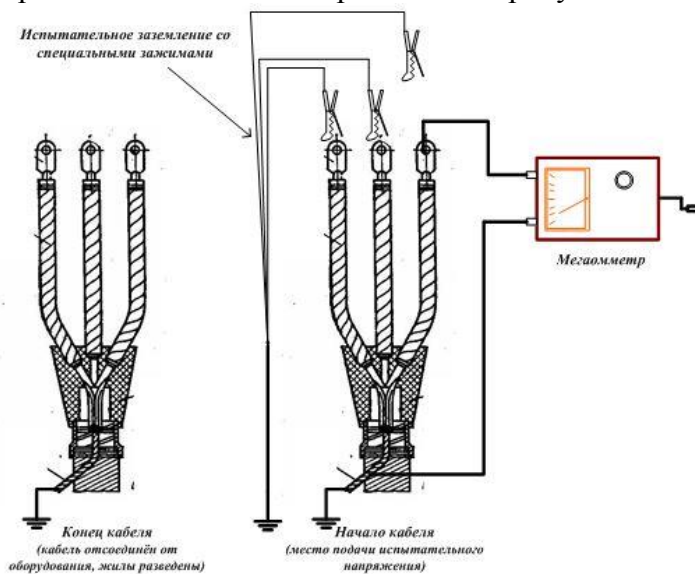


Рисунок 2.32 – Схема измерения сопротивления изоляции кабеля.

У трехжильных кабелей измерение $R_{из}$ производится для каждой жилы по отношению к двум другим и по отношению к земле.

Испытание повышенным напряжением каждой жилы относительно двух других и земли проводят после проверки изоляции. Указанные напряжения достигаются плавным подъемом напряжения со скоростью 1-2 кВ/с и выдерживается в течении 10 минут при испытании новых и 5 минут для находящихся в эксплуатации кабелей напряжением 2-35кВ.

В течении заданного времени ведется наблюдение за показаниями приборов (амперметра и вольтметра). Оценка состояния кабеля производится по характеру и значению тока утечки. При удовлетворительном состоянии кабеля ток утечки при подъеме напряжения сначала резко возрастает (за счет заряда емкости кабеля), затем быстро спадает. При наличии дефектов ток утечки спадает медленно или может возрасти, особенно при полном испытательном напряжении. Результаты испытания считаются удовлетворительными, если при испытаниях не произошло пробоя, не наблюдалась резких бросков тока в сторону увеличения и

напряжения в сторону уменьшения, ток утечки при максимальном испытательном напряжении не превысил допустимые значения. Если последнее условие не удовлетворяется и ток утечки возрастает, испытания продолжаются до наступления пробоя, после чего определяется место повреждения [21]. Схема испытания кабеля повышенным напряжением приведена на рисунке 2.18

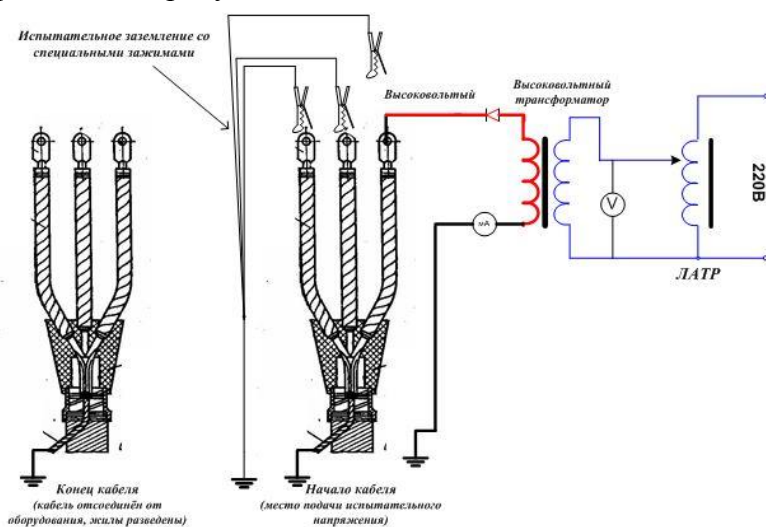


Рисунок 2.33 – Схема испытания кабеля повышенным напряжением.

Окончательным критерием удовлетворительного состояния кабелей является повторная проверка изоляции.

8. Шины

Шины закреплены на изоляторах и испытание шин сводится к испытанию изоляторов, которые используются в данном распределительном устройстве. Шинопровод сборный и соединительный испытываются в объёмах испытания изоляторов с добавлением испытания контактных соединений шин.

Измерение сопротивления изоляции шинопроводов проводят поочередно для каждой шины отдельно относительно земли и между фазами. При измерении сопротивления изоляции шин относительно земли две свободные фазы можно заземлить и таким образом произведя три измерения (по одному на фазу) определить сразу сопротивление изоляции как между фазами так и каждой из фаз относительно земли..

Схема измерения сопротивления изоляции шин приведена на рисунке 2.19

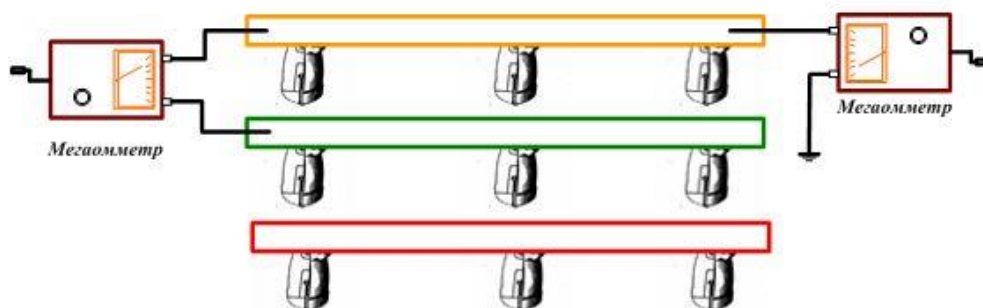


Рисунок 2.34 – Схема измерения сопротивления изоляции шин.

Испытание повышенным напряжением промышленной частоты проводят в соответствии с рисунком 2.20. При проведении испытаний шин необходимо свободные фазы заземлять. Данное мероприятие позволяет выявить как фазные, так и межфазные дефекты ошиновки.

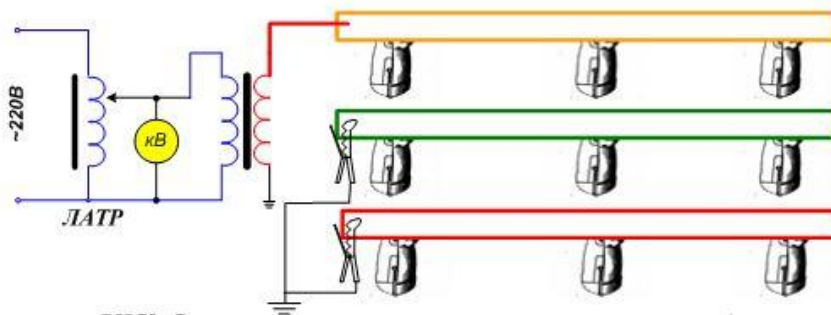


Рисунок 2.35 – Схема испытания шин повышенным напряжением.

Измерение контактных соединений позволяет выявить ненадёжные контакты в ошиновке, которые в дальнейшем могут развиваться в серьёзный дефект, особенно при прохождении больших токов длительное время. Для проведения измерения необходимо обеспечить хорошие контакт с объектом измерения (шинами). Во всех случаях для контроля произведённых замеров необходимо измерить сопротивление шины на целом участке длиной, примерно, 40 см.

9. Измерительные трансформаторы

Измерение сопротивления изоляции обмоток производится мегаомметром на 2500 В первичных обмоток и 1000 В вторичных обмоток. Измерение сопротивления производить при температуре не ниже + 10 С.

Проверка полярности вторичных обмоток измерительных трансформаторов производится методом импульсов постоянного тока при помощи гальванометра по схеме приведенной на рисунке 3.21

При замыкании цепи тока следят за направлением отклонения стрелки прибора. Если при замыкании цепи стрелка отклоняется вправо, то однополярными зажимами будут те, к которым присоединены «плюс» батареи и «плюс» прибора.

В качестве источника постоянного тока используют сухие батареи или аккумуляторы напряжением 2-6 В. При использовании аккумуляторов необходимо применять ограничительное сопротивление.

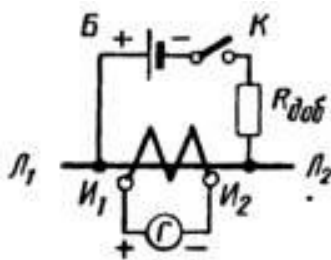


Рисунок 2.36 – Схема проверки полярности вторичных обмоток трансформаторов тока

Пример протокола сопротивления изоляции и проверки полярности выводов обмотки представлен в таблице 2.15

Таблица 2.2.15 – протокол сопротивления изоляции и проверки полярности выводов обмотки трансформаторов тока и напряжения.

Обозначение по схеме	Класс обмотки	Сопротивление изоляции, МОм			Полярные выводы обмоток	
		Первичная-корпус	Вторичная-корпус	Первичная вторичная	Первичная	Вторичная

Значение tgδ изоляции трансформаторов тока во всех случаях, когда это возможно, определяют по нормальной схеме измерительного моста. Вторичные цепи при измерениях следует отсоединить, удалить на достаточное расстояние от выводов вторичных обмоток и надежно заземлить.

ПУЭ предусматривает измерение tgδ для трансформаторов тока напряжением 110 кВ и выше, «Нормы испытания оборудования» предусматривают измерение tg δ у трансформаторов тока с основной бумажно-бакелитовой и бумажно-масляной изоляцией независимо от номинального напряжения трансформаторов тока. Тангенс угла диэлектрических потерь не должен превышать 3/12 % для трансформаторов напряжением 3 – 10 кВ [20].

Испытание главной изоляции первичных обмоток измерительных трансформаторов производится у тех измерительных трансформаторов, у которых все выводы имеют изоляцию, рассчитанную на номинальное напряжение.

Перед **испытанием повышенным напряжением** необходимо проверить уровень масла в трансформаторе. Испытание обмоток проводится по отношению к корпусу и другим обмоток. Длительность испытания измерительных трансформаторов с фарфоровой внешней изоляцией – 1 минута, с органической изоляцией – 5 минут. Испытание измерительных трансформаторов допускается проводить совместно с ошиновкой.

В таблице 2.16 указаны предельные значения сопротивления изоляции обмоток измерительных трансформаторов.

Таблица 2.2.16 – Предельное значение сопротивления изоляции обмоток измерительных трансформаторов

Класс напряжения эл.оборудования	Трансформаторы тока и напряжения		
	На заводе изготовителя	Перед вводом в эксплуатацию и в эксплуатации	
		фарфоровая изоляция	другие виды изоляции
До 0,6	2,0	1	1
6	32,0	32,0	28,8
10	42,0	42,0	37,8

Значения испытательного напряжения для изоляции вторичных обмоток вместе с присоединенным к ним цепями принимается равным 1 кВ. Продолжительность приложения испытательного напряжения – 1 минута.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току измерительного трансформатора тока производится:

- между первичной обмоткой $L_1 - L_2$;
- между вторичной обмоткой 1 $I_1 - I_2$;
- между вторичной обмоткой 2 $I_1 - I_2$.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току производится у связующих обмоток каскадных трансформаторов напряжения.

Отклонение измерительного сопротивления обмотки постоянному току от паспортного значения или от измеренного на других фазах не должно превышать 2%. При сравнении измеренного значения с паспортными данными, измеренное значение сопротивления должно приводиться к температуре заводских испытаний. При сравнении с другими фазами измерения на всех фазах должны приводиться при одной и той же температуре.

Коэффициент трансформации проверяют по схеме, приведенной на рисунке 2.22. При помощи нагрузочного трансформатора НТ в первичную обмотку подают ток, равный или близкий к номинальному, но не менее 20% номинального. Коэффициент трансформации проверяют для всех вторичных обмоток и на всех ответвлениях.

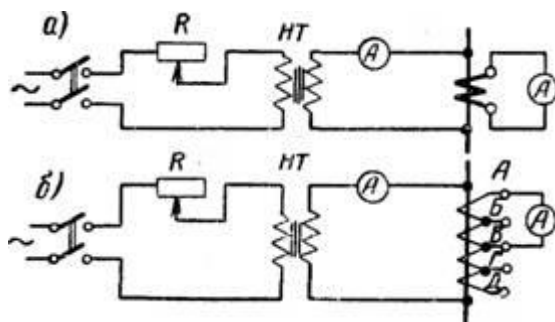


Рисунок 2.37 – Схема проверки коэффициента трансформации трансформаторов тока (а – выносных; б – встроенных)

Образец протокола проверки коэффициента трансформации трансформаторов тока приведен в таблице 2.17.

Таблица 2.2.17 – Протокол проверки коэффициента трансформации трансформаторов тока.

Класс обмотки	Номинальный коэффициент трансформации	Первичный ток, А	Вторичный ток, А	Измеренный коэффициент трансформации

Согласно заводским требованиям тока холостого хода измеряется только у каскадных трансформаторов напряжения. **Испытание витковой изоляции** измерительных трансформаторов напряжения производится методом – амперметра и вольтметра, или комплектом К-505 или К-540.

При испытании витковой изоляции трансформаторов напряжения, напряжение подводится к зажимам вторичной обмотки. Напряжение плавно поднимается до номинального значения и измеряется, ток холостого хода на каждой фазе трансформатора. Затем, напряжение поднимается до 1,3 номинального значения и выдерживается 3 минуты. Замеряется ток холостого хода, после этого напряжение снижается до номинального и опять измеряется ток холостого хода, если в процессе испытания или после испытания витковой изоляции, ток холостого хода повысился, то трансформатор напряжения направляется в ремонт.

Проверке характеристики намагничивания. Наиболее распространенный дефект трансформаторов тока – витковое замыкание во вторичной обмотке. Этот дефект лучше всего выявляется при проверке характеристики намагничивания, которая является основной для оценки исправности и определения погрешностей или тождественности трансформаторов, предназначенных для дифференциальных и земляных защит. Витковое замыкание выявляется по снижению характеристики намагничивания и уменьшению ее крутизны.

На рисунке 2.23 линией 1 показан исправный трансформатор, по линии 2 видно, что даже при закорачивании всего 1–2 витков происходит снижение характеристики. Линия 3 показывает

замыкание восьми витков. При проверке же коэффициента трансформации замыкания небольшого числа витков практически не обнаруживается.

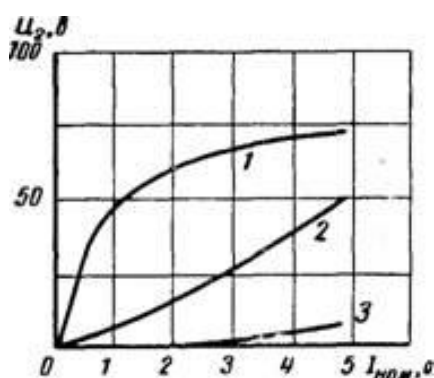


Рисунок 2.38 – Характеристики намагничивания при витковых замыканиях во вторичных.

Оценка полученной характеристики намагничивания производится путем сопоставления ее с типовой или с характеристиками, полученными на других однотипных трансформаторах тока того же коэффициента трансформации и класса точности.

Кривые намагничивания рекомендуется снимать по схеме с автотрансформатором (рисунок 2.24, а). При пользовании потенциометром (рисунок 2.24, б) характеристика для того же трансформатора получится несколько выше, а при пользовании реостатом (рисунок 2.24, в) – еще выше. Эти кривые изображены на рисунке 2.25.

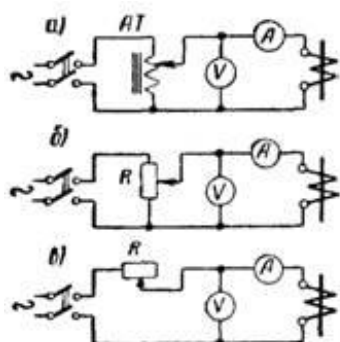


Рисунок 2.39 – Схемы снятия характеристик намагничивания.

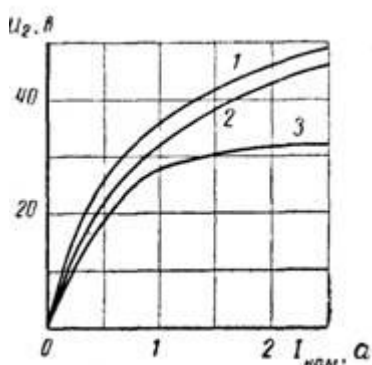


Рисунок 2.40 – Характеристики намагничивания трансформаторов тока.

Образец протокола проверки характеристик намагничивания трансформаторов тока приведен в таблице 2.18

Таблица 2.2.18 – Протокол проверки характеристик намагничивания трансформаторов тока.

Класс обмотки	Обозначение обмотки	Вольтамперная характеристика						
		I, mA						
		U, V						

10. Релейная защита и автоматика.

При проверке устройств релейной защиты и автоматики проверяются и регулируются вспомогательные контакты коммутационных аппаратов-выключателей, разъединителей, магнитных пускателей и т. п. Вспомогательные контакты обычно связаны механически с приводами или непосредственно с аппаратами, и их положение должно отражать положение основного коммутационного аппарата.

Вспомогательные контакты должны обеспечивать:

- надежный разрыв вторичной цепи (зазор не менее 4 – 5 мм);
- надежное замыкание цепи (вжим – "провал" – не менее 1,5-2 мм);
- у масляных выключателей – размыкание цепи включения выключателя (размыкающие контакты) в конце операции включения, а размыкание контактов в цепи отключения (замыкающие контакты) должно происходить в начале операции отключения выключателя.

Проверка и настройка электромагнитных реле тока и напряжения сводится к проверке механической и электрической части

Проверка механической части. Якорь реле должен перемещаться свободно, без заметного трения, люфт по оси должен быть в пределах 0,2-0,3 мм.

Полка лепестка якоря в притянутом состоянии должна образовывать одинаковый зазор, без перекосов, около 0,6 мм. Положение якоря в зазоре регулируется упорным винтом, а величина и равномерность зазора – перемещением магнитопровода при отпущенных крепежных винтах. При всех положениях указателя уставки пружина должна четко возвращать якорь в исходное состояние после отпускания якоря рукой из любого положения. Верхний и нижний неподвижные контакты должны лежать в одной плоскости и должны быть параллельными. Проверяют затяжку гаек крепления неподвижных контактов к пластмассовой колодке. При этом отверткой удерживают крепежные винты во избежание смещения контактов [23].

Подвижный контакт должен от руки свободно качаться вокруг оси. Суммарный воздушный зазор между пластинами неподвижного контакта и мостиком подвижного контакта в крайних положениях якоря должен составлять 2-2,5 мм. Проверяют, чтобы упорные винты, ограничивающие поворот якоря, не препятствовали вхождению полок якоря под полюсы, при этом подвижный

контакт не должен задевать за торец неподвижного контакта при замыкании цепи, а также не должны доходить до края серебряных напаяк неподвижного контакта в конце хода якоря на 1,5-2 мм.

На рисунке 2.26 изображена регулировка контактов реле.

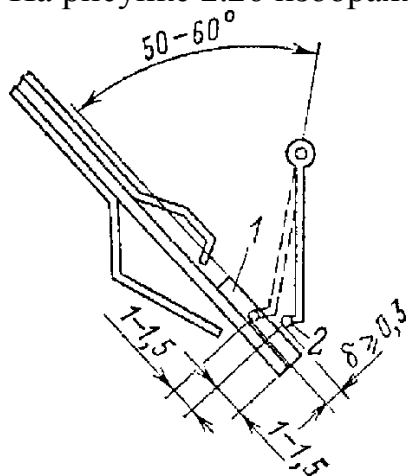


Рисунок 2.41 – Регулировка контактов реле.

Если заводская регулировка нарушена, то ее следует достигнуть либо смещением неподвижного контакта в пазу пластмассовой колодки, либо подгибанием его. Упорные винты якоря вращать до электрических испытаний не следует, так как это может изменить коэффициент возврата и вывести реле из шкалы уставок.

Впереди и позади пружинящих пластин неподвижного контакта имеются упоры, ограничивающие вибрацию контактов. Передний упор (со стороны неподвижного контакта) должен иметь зазор, просматриваемый на свет, а задний - несколько больший, но такой, чтобы пружина неподвижного контакта касалась упора лишь в конце поворота якоря при провале контакта.

Чистят контакты чистой тряпочкой, а в необходимых случаях - острым лезвием ножа, надфилем с мелкой насечкой, но так чтобы не повредить серебряный защитный слой.

Проверка электрических характеристик. Осматривают состояние и крепление резисторов, полупроводниковых элементов, конденсаторов. Пинцетом проверяют качество пайки электрических контактов.

У исполнительного органа реле проверяют ток и напряжение срабатывания отдельно, без промежуточного трансформатора.

Проверка производится в рабочем диапазоне реле при положениях указателя шкалы на первой и последней уставках (проверка шкалы) и на рабочей отметке шкалы, т. е. при заданной уставке. Реле должно быть "в шкале", а ток или напряжение срабатывания не должны отличаться от заданной уставки более чем на 1-2%. Проверка производится не менее 5 раз на каждой точке. Отклонение на 1% от среднего значения свидетельствует о механических неисправностях или загрязнении подпятников. Если положение указателя не соответствует току или напряжению срабатывания, то следует поставить указатель на нужное деление шкалы, ослабить или затянуть пружину якоря, ослабив гайку, прижимающую снизу указатель. Ток или напряжение срабатывания можно увеличить или

уменьшить, отвернув или завернув левый упорный винт. При этом, однако, можно нарушить правильность регулировки контакта и изменить коэффициент возврата реле [23].

Поляризационные реле в зависимости от назначения могут иметь три вида регулировок, которые изображены на рисунке 2.27: нейтральную или двухпозиционную, с преобладанием и трехпозиционную.

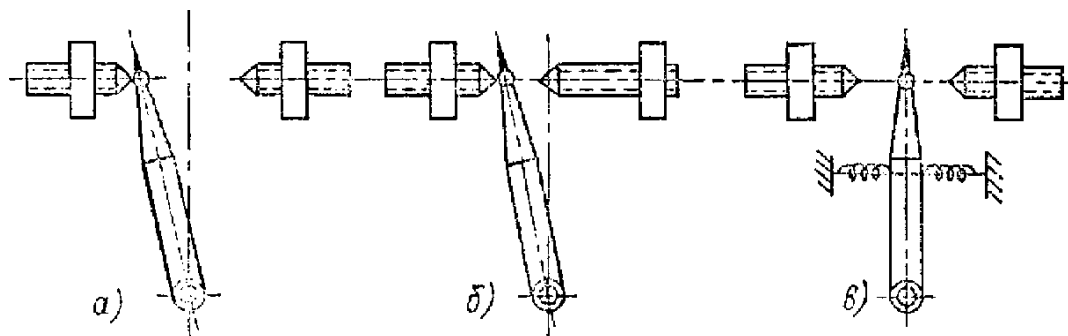


Рисунок 2.42 – Виды настройки контактных систем поляризованных реле.

Если неподвижный контакт не дает якорю дойти до нейтральной линии, то якорь при отсутствии тока в обмотке будет отклоняться в сторону другого контакта (регулировка с преобладанием).

Реле имеющие трехпозиционную настройку, отличается от нейтральной тем, что после отключения тока в обмотках пружины возвращают якорь реле в нейтральное положение.

При проверке и сборке схемы следует учитывать, что при несоблюдении полярности подаваемого на реле тока не переключится, и обмотка может перегреться. Зазоры контактов в цепи обмоток регулируются в пределах 1-1,3 мм подгибанием контактных пластин. Зазор между толкателем и подвижными контактными пластинами замкнутых рабочих контактов 0,5-0,8 мм. Этот зазор у контактов в цепи обмоток может быть больше [23].

Наладка индукционных реле также сводится к проверке механической и электрической части.

Проверка механической части. Винт уставки тока срабатывания (переключения отпаяк электромагнита) должен завинчиваться до конца без проворачивания во всех гнездах, плотно прилегая плоскостью головки к металлической планке. Регулировочный винт отсечки должен хорошо тормозиться упорной пластиной. Рамка должна свободно качаться и иметь вертикальный люфт около 1 мм, а диск должен легко вращаться, имея люфт в подпятниках 0,3—0,5 мм. При вращении диска должен быть равномерный зазор не менее 0,3 мм между диском и полюсами постоянного магнита и электромагнита.

Проверяется свободное вращение сектора и зацепление червяка диска с сектором при повороте рамки с диском от руки при любом положении поводка, регулирующего время срабатывания. Проверяется чистота контактов и расстояние между подвижными и неподвижными контактами. Расстояние в разомкнутом состоянии должно составлять 2-3 мм, а для сигнальных контактов — не менее 1,5 мм. Провал контактов 0,8-1 мм.

Проверка электрических характеристик. Проверка проводится по схеме на рисунке 2.28

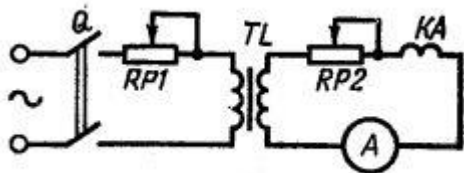


Рисунок 2.43 – Проверка электрических характеристик реле.

При проверке следует выбирать $R_{\text{н}} \geq 5Z$ реле. Особенно важно соблюдать это условие при проверке работы индукционного элемента. За ток срабатывания индукционного элемента принимают ток, при котором червяк входит в надежное зацепление с зубчатым сектором. Если механическая часть реле исправна, то ток начала вращения диска должен быть не более $0,25 I_{\text{ср}}$.

Если ток срабатывания индукционного элемента отличается более чем на 5 % от заводской шкалы, то следует регулировать ток срабатывания изменением натяжения возвратной пружины рамки реле, которая расположена внизу рамки.

Коэффициент возврата реле должен быть не менее 0,8. Желательно при наладке реле отрегулировать k_B выше номинального (0,85-0,87).

Особенностью проверки отсечки является то, что для проверки требуются большие токи, при которых реле перегружается, и обмотка его перегревается. Поэтому источник тока при этих проверках необходимо подключать кратковременно. Рекомендуется пользоваться при проверке тока срабатывания «импульсным» амперметром и, быстро увеличивая ток до срабатывания отсечки, отключать ток сразу после срабатывания реле.

Если нет импульсного амперметра, то измерения можно проводить и с помощью обычного амперметра, кратковременно подключая источник тока и каждый раз ступеньками увеличивая ток до срабатывания реле. После срабатывания нужно несколько уменьшить подводимое напряжение, чтобы убедиться в пороге надежного срабатывания.

Протокол проверки электрических характеристик реле защиты изображен в таблице 2.19.

Таблица 2.19 – Протокол проверки электрических характеристик реле защиты.

Обозначение на схеме	Место установки	Тип реле	Номинальное напряжение (ток), В (А)	Напряжение (ток), В (А)			Время, с		Однополярные зажимы обмоток реле
				Срабатывания	возврата	удерживания	срабатывания	возврата	

11. Устройства защитного отключения

Проверка устройств защитного отключения (УЗО) состоит из проверки правильности монтажа УЗО и проверки работоспособности.

Проверка правильности монтажа включает в себя:

- проверку правильности монтажа устройства в соответствии со схемой;
- проверку фазировки и маркировки подключенных к УЗО проводников (фазных и нулевого);
- контроль надежности затяжки контактных зажимов УЗО.

Проверка работоспособности УЗО состоит из проверки устройств вручную и при помощи прибора для тестирования УЗО FLUKE 1651

Проверка вручную:

– проверки фиксации органа управления УЗО в двух четко различающихся положениях: «Вкл» и «Откл»;

– проверки при включенном рабочем напряжении путем нажатия кнопки «Тест»;

Проверка с использованием прибора FLUKE 1651:

– измерение времени отключения УЗО;

– измерение тока срабатывания уставок;

– измерение сопротивления петли фаза – ноль

Для измерения петли фаза – ноль используют современный электроизмерительный прибор FLUKE 1651, который работает по методу падения напряжения на нагрузочном сопротивлении.

На рисунке 2.29 показана схема измерения петли фаза – ноль.

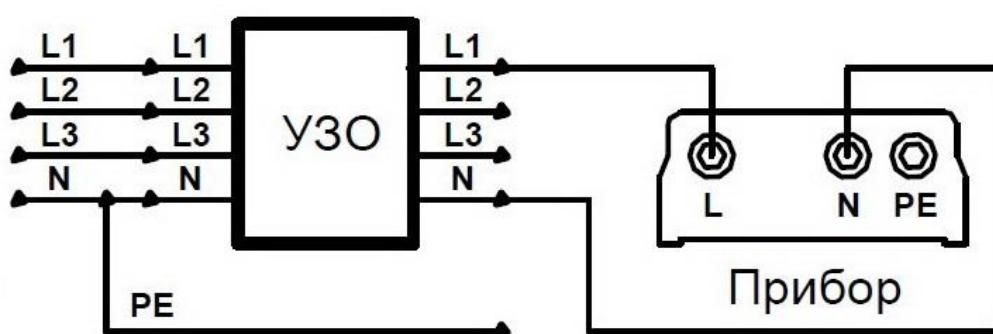


Рисунок 2.44 – Схема измерения петли фаза – ноль.

Время отключения УЗО не должно превышать 30 мс.

Все измерения записываются в протокол испытаний. Устройство защитного отключения бракуется, если оно не прошло хотя бы один из этих пунктов.

Заземляющее устройство

Схема для измерения сопротивления заземляющих устройств представлена на рисунке 2.30

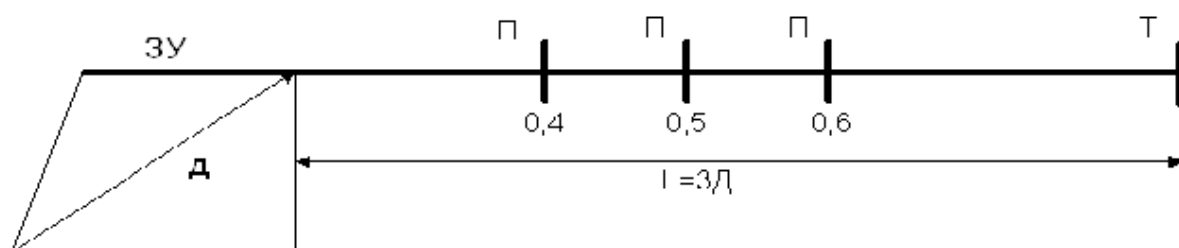


Рисунок 2.45 – Схема для измерения сопротивления заземляющих устройств.

При производстве измерений оценивается качество выполнения заземляющего устройства, представляющего собой совокупность заземлителей, т.е. проводников, находящихся в непосредственном контакте с грунтом и заземляющих проводников, осуществляющих связь электроустановок с заземлителями.

Точность измерений зависит в основном от правильности расположения измерительных электродов: токового (Т) и потенциального (П). При различных геоэлектрических разрезах

грунта близкое к действительному значению сопротивления может быть получено при различном соотношении расстояний от испытуемого заземлителя до потенциального и до токового электродов.

Измерительные электроды рекомендуется размещать по однолучевой схеме: токовый (Т) на расстоянии $L = 3Д$ от края измеряемого заземляющего устройства (где $Д$ – наибольшая диагональ заземляющего устройства) и потенциальный электрод (П) устанавливается поочередно на расстояниях $0,2zt, 0,3zt, 0,4zt, 0,5zt, 0,6zt, 0,7zt, 0,8zt$.

Измерения сопротивления производится при установке потенциального электрода в каждой из указанных точек. По данным измерений строится кривая зависимости сопротивления от расстояния потенциального электрода до заземляющего устройства, показанная на рисунке 2.31.

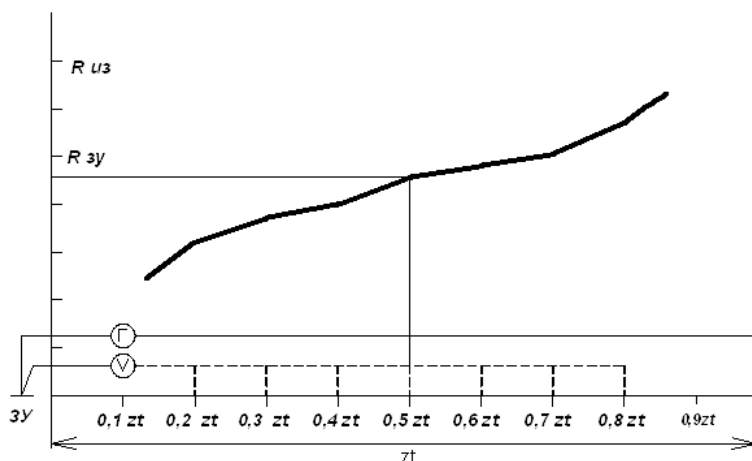


Рисунок 2.46 – Зависимость сопротивления от расстояния потенциального электрода до заземляющего устройства.

Если вид полученной зависимости соответствует изображенной кривой сплошной толстой линией на рисунке 2.31, а величины сопротивлений, измеренных при положениях потенциального электрода на расстояниях $0,4zt$ и $0,6zt$ отличаются не более чем на 10%, то за сопротивление заземляющего устройства принимается величина, измеренная при расположении потенциального электрода на расстоянии $0,5zt$.

Если значения сопротивлений, измеренных при положениях потенциального электрода на расстояниях $0,4zt$ и $0,6zt$, отличаются более чем на 10%, то измерения сопротивления необходимо повторить при увеличенном в 1,5 – 2 раза расстоянии до токового электрода.

В качестве электродов применяются металлические стержни диаметром 10-12 мм и длиной 1,2 метра, погруженные в землю на глубину не менее 0,5 метра.

Работоспособность измерителя М – 416 проверяется в положении «Контроль 5 Ом». Показания прибора при проверке должны быть в пределах 5 Ом (допуск $\pm 0,35$ Ом).

Для измерения металлосвязи оборудования с заземлителем можно использовать различные приборы, которые способны измерять малые величины сопротивлений, в том числе и специально предназначенный для этого прибор М – 372 (Измеритель заземляющей проводки), ММВ (малый мост Винстона) и мост М-416.

Измерение связи электрооборудования с заземляющим устройством с применением М-416 проводится по схеме на рисунке 2.32

Под R переходным подразумевается измеряемое сопротивление металлической связи.

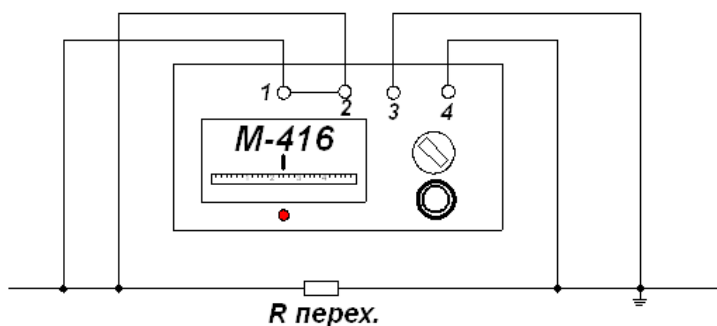


Рисунок 2.47 – Схема измерения связи электрооборудования с заземляющим устройством.

Измерение с использованием моста ММВ проводится по схеме на рисунке 2.33



Рисунок 2.48 – Схема измерения металлосвязи с использованием ММВ.

При производстве измерений струбцина, подключённая к минусовому зажиму прибора, надёжно зажимается на главной заземляющей шине (ГЗШ) для обеспечения надёжного контакта, а второй зажим прибора подключается к корпусу оборудования в районе болтового соединения. Для обеспечения качественных измерений и получения достоверных показаний места подключения на корпусе оборудования и главной заземляющей шине необходимо зачистить напильником. Нажав кнопку измерения прибора ММВ и уравновесив нулевой орган с помощью вращения ручки реохорда, считайте показания. Из показаний прибора необходимо вычесть сопротивление проводов.

Измерение удельного сопротивления грунта с применением прибора М-416 представлена на рисунке 2.34. В качестве измерительного электрода применяют металлический стержень известных размеров.

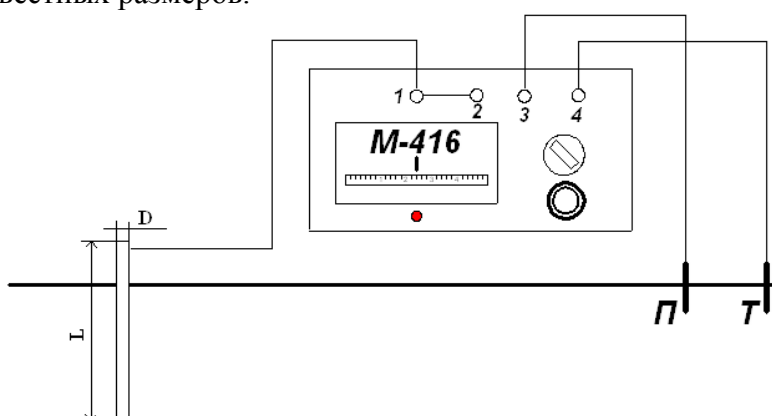


Рисунок 2.49 – Схема измерения удельного сопротивления грунта.

Потенциальный и токовый электроды располагают на расстоянии 20 и 10 метров от измерительного (как при обычных измерениях сопротивления заземлителя). В местах забивки измерительного, потенциального и токового электродов растительный и насыпной слой почвы необходимо удалить.

Удельное сопротивление грунта на глубине забивки измерительного электрода рассчитывается по формуле:

$$\rho = \frac{2,73 \cdot R \cdot L}{\lg\left(\frac{4 \cdot L}{D}\right)} \quad (2.11)$$

где R – сопротивление заземления штыря, Ом;

L – глубина забивки измерительного электрода, м;

D – диаметр электрода, м;

ρ – среднее удельное сопротивление грунта, Ом·м.

Измерение удельного сопротивления грунта методом четырёх электродов представлена на рисунке 2.35

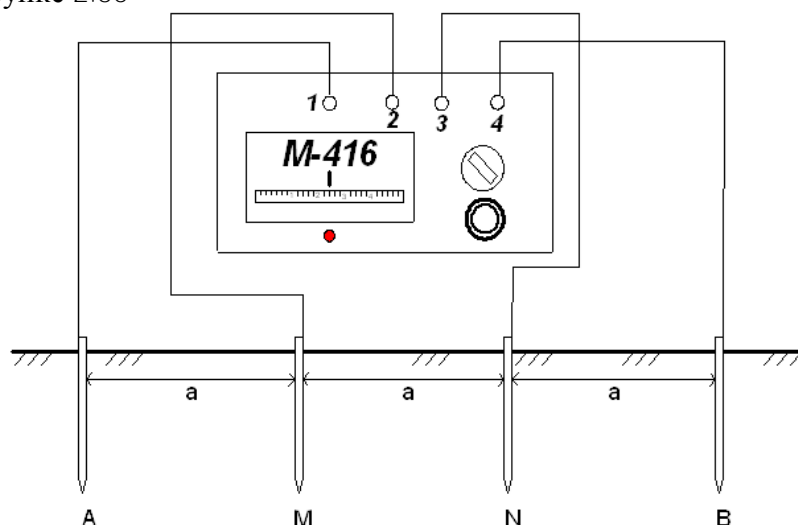


Рисунок 2.50 – Схема измерения удельного сопротивления грунта методом четырёх электродов.

Электроды А, М, N и В устанавливаются на одинаковых расстояниях друг от друга. Целесообразно произвести несколько измерений с изменением расстояния между электродами.

Удельное сопротивление грунта рассчитывается по формуле:

$$\rho = k \cdot R_{\text{изм}} \quad (2.12)$$

где k – коэффициент, зависящий от расстояния между электродами, который определяется по формуле:

$$k = 2 \cdot \pi \cdot a \quad (2.13)$$

где a – расстояние между электродами, м.

Коэффициент k можно определить по таблице 3.21 в зависимости от расстояний между электродами.

Таблица 3.2.20 – Значения коэффициента k .

AB, м	30	45	60	90	120	150	200
MN, м	10	15	20	30	40	50	66
k	62,8	94,2	125,6	188,4	251,2	314	421

3 ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА ЛАБОРАТОРНЫХ УСТАНОВКАХ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Высоковольтные установки, применяемые в учебной лаборатории, представляют повышенную опасность электротравматизма, а поэтому все лица, работающие и обучающиеся в лаборатории, обязаны знать и соблюдать правила техники безопасности при работе с установками высокого напряжения, инструкции по технике безопасности, а также правила освобождения пострадавшего от действия электрического тока и оказания ему первой помощи.

При работе с высоковольтными установками недопустимо присутствие на рабочих местах посторонних лиц. На установках высокого напряжения должны работать не менее двух человек. Запрещается включать установку до проверки преподавателем собранной студентами схемы.

При выполнении лабораторных работ иногда необходимо многократно менять схему, вводить новые элементы и т.д. поэтому, приступая к очередным опытам, всякий раз надо тщательно проверять схему установки, заземление, исправность блокировки ограждения, положение регулятора напряжения. Перед подачей напряжения следует убедиться в отсутствии за ограждением людей.

Включая высокое напряжение, необходимо громко предупредить:

«ВКЛЮЧАЮ ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ». Категорически запрещается входить за ограждение во время выполнения работы, оставлять установку без присмотра.

Установки и аппараты высокого напряжения должны находиться под напряжением лишь в то время, которое требуется для производства наблюдений и испытаний.

Важно первоначально разрядить высоковольтные конденсаторы и наложить заземление на высоковольтный вывод трансформатора.

Кроме перечисленных правил, в каждой высоковольтной лаборатории есть общая инструкция по технике безопасности, по которой студенты проходят инструктаж в начале учебного семестра.

С особенностями работы отдельных установок студенты знакомятся во время инструктажа на рабочем месте.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 – ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МАГНИТОПРОВОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цель работы:

Изучение способов оценки состояния магнитопроводов на примере трехфазного двухобмоточного силового трансформатора.

Краткие теоретические сведения

О состоянии магнитопроводов судят по результатам соответствующих опытов, проводимых на электрических машинах и аппаратах. Активная часть трансформатора представлена на Рисунок 4.1. Магнитопровод стержневого типа собирается из холоднокатаной электротехнической стали. На магнитопроводе намотаны обмотки НН и ВН. Обмотка НН наматывается ближе к железу трансформатора. Отводы обмоток выполняются с усиленной бумажной изоляцией, если обмотка НН имеет напряжение 0,4кВ, то её отводы выполняются обычно алюминиевой шиной.

Активная часть трансформатора помещена в бак. На крышке бака смонтированы привод переключателя ответвлений обмотки ВН, съёмные выводы НН и ВН, допускающие замену без подъёма активной части, расширитель с маслоуказателем и воздухоочистителем.

Бак трансформатора заполнен жидким диэлектриком (трансформаторным маслом). Магнитопроводы выполняются из тонких изолированных друг от друга пластин специальной электротехнической стали горяче- или холоднокатаной. Лучшие характеристики имеются у холоднокатаной стали. Изоляция между пластинами служит для снижения вихревых токов в

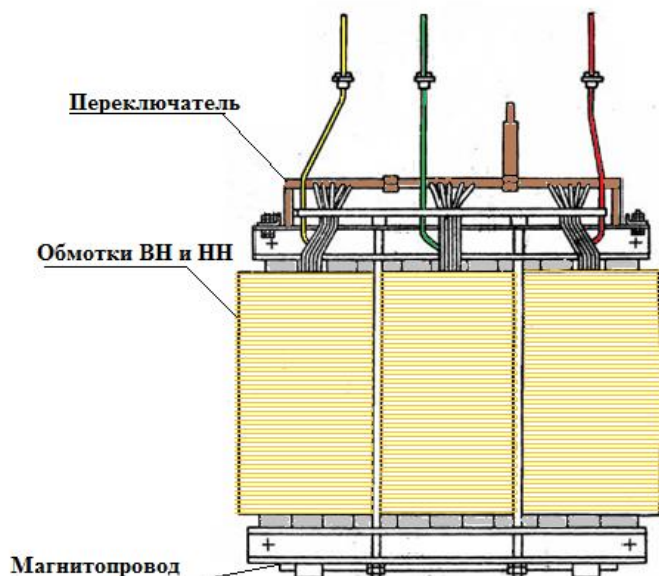


Рисунок 3.1 – Активная часть трансформатора

процессе перемагничивания сердечника. Нарушение этой изоляции приводит к росту этих токов и, как следствие, перегреву сердечника за счет увеличения площади петли гистерезиса. Перегрев магнитопровода приводит к преждевременному старению и разрушению изоляции обмоток электрических машин и трансформаторов. Ниже рассмотрим виды опытов, проводимых с целью выяснения состояния магнитопроводов.

У силовых трансформаторов измеряют потери мощности холостого хода и сопоставляют их с данными ГОСТ на такие типы трансформаторов. Отличие между

сравниваемыми величинами не должно превышать 10%. В противном случае необходимо выяснить причину этого отклонения и устранить ее. Одной из причин могут служить, кроме нарушения изоляции стальных пластин, Ей псовые замыкания в обмотках. Последние можно обнаружить по сопротивлению обмоток постоянному току.

Опыт по измерению потерь холостого хода выполняют до измерения сопротивления обмоток постоянному току, чтобы намагничивание сердечника постоянным током не исказило форму кривой намагничивания (петли гистерезиса). В качестве источника тока используют низкое напряжение 220-330 В, чтобы не вызвать сильного разрушения обмоток в случае наличия витковых замыканий или других несоответствий. При этом напряжение подают на первичную обмотку. В противном случае на выводах обмотки ВН будет иметь место высокое напряжение,

опасное для жизни людей. Например, если в трансформатор 220/10 кВ подать на обмотку НН напряжение 220 В, то на его обмотке ВН трансформируется напряжение 4840 В.

У измерительных трансформаторов напряжения для этой цели проводятся испытания по выявлению величины тока холостого хода, а у измерительных трансформаторов тока и дросселей снимается характеристика зависимости тока холостого хода (намагничивания) в обмотке от подаваемого на нее напряжения. Резкое снижение характеристики в начальной ее части и соответствие ГОСТ в ее насыщенной зоне объясняется наличием небольшого количества короткозамкнутых витков. Если же в насыщенной части характеристики имеет место провал характеристики намагничивания, то это указывает на наличие большого количества короткозамкнутых витков.

Состояние магнитопроводов электрических машин проверяется снятием характеристик холостого хода и короткого замыкания у синхронных генераторов, а также нагрузочных характеристик у машин постоянного тока, и сопоставлением их с данными ГОСТ или заводских испытаний. По этим же характеристикам определяются дополнительные параметры, необходимые для наладки устройств АРВ, и др.

Задание на подготовительную работу

1. Ознакомиться с теоретической частью работы.
2. Изучить лабораторное оборудование и вычертить схему лабораторной установки.
3. Подготовить таблицу для измеряемых и вычисляемых величин.
4. Ответить устно на контрольные вопросы.

Порядок выполнения работы

1. В качестве объекта испытания используется трехфазный силовой двухобмоточный трансформатор мощностью 1,5 кВ·А, напряжением 380/220 В. Источником питания служит трехфазный ЛАТР 380 В, а для измерений – комплект измерительных приборов (КИП). Схема соединения обмоток трансформатора задается преподавателем.
2. Выяснить первичную и вторичную обмотки испытуемого трансформатора, и согласовать свои выводы с преподавателем.
3. Собрать схему лабораторной установки по типу Рисунок 3.2 с учетом схемы соединения обмоток трансформатора¹. При соединении обмоток по схеме ΔУ без нулевого вывода третья фаза вторичной обмотки закорачивается, чтобы исключить протекание по ней тока.
4. Вывести ЛАТР на нуль и подключить его к сети.
5. С помощью ЛАТР установить испытательное напряжение в пределах 100-120 В, произвести необходимые измерения и занести их в Таблица 3.1
6. Отключить установку от сети и затем повторить п. 3-5 по схемам Рисунок 4.3 и Рисунок 4.4.
7. По данным Таблица 3.1 вычислить потери мощности холостого хода трансформатора по формуле:

$$\Delta P_0' = (P_{Tab} + P_{Tbc} + P_{Tac})/2 \quad (3.1)$$

8. При группах соединения обмоток Y/Δ или Y/Δ без нулевого вывода по формуле:

$$\Delta P_0' = P_{Toa} + P_{Tob} + P_{Toa} \quad (3.2)$$

¹ СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ К ТРАНСФОРМАТОРУ НЕ МЕНЯЕТСЯ ПРИ ЛЮБЫХ ГРУППАХ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА. ПОТЕРИ МОЩНОСТИ ХОЛОСТОГО ХОДА ПРИ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ НАПРЯЖЕНИИ РАВНЫ СУММЕ ПОКАЗАНИЙ ВАТТМЕТРА ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ КИП ПО ВСЕМ ТРЕМ ФАЗАМ.

Таблица 3.1 - Потери мощности, Вт

№ схемы	Общее потребление P_0	Потребление схемой P_c	Потребление трансформатором $P_T = P_a - P_c$
Рисунок 3.2	P_0 ав	P_0 ав	P_T ав
Рисунок 4.3	P_0 вс	P_0 вс	P_T вс
Рисунок 4.4	P_0 ас	P_0 ас	P_0 ас

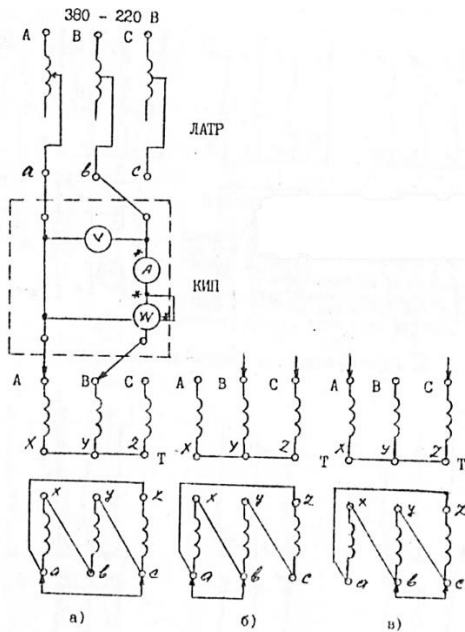
$$\Delta P_0 = \Delta P_0' \left(\frac{U_H}{U_H} \right)^n, \quad (3.3)$$

где U_H – номинальное напряжение обмотки ВН трансформатора (380 В);

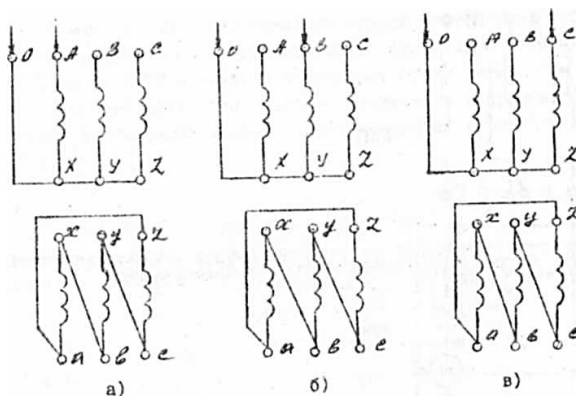
U_H – номинальное напряжение обмотки ВН трансформатора (380 В);

$U_{И}$ – испытательное напряжение, подводимое к трансформатору во время опыта;

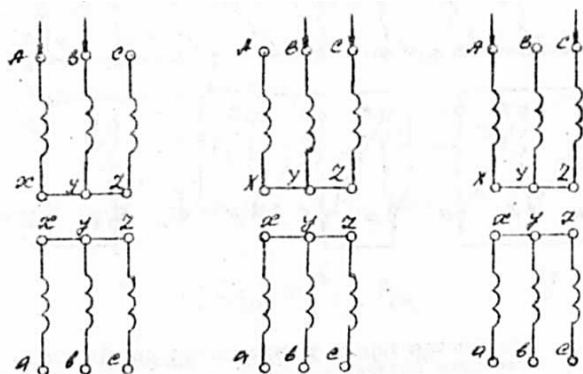
n – коэффициент, принимаемый равным 1,8 – для горячекатаной стали, 1,9 – для холоднокатаной стали.



**Рисунок 3.2 – Схема установки при однофазном источнике питания.
Схема соединения Δ / Δ**



**Рисунок 3.3 - Схема установки при однофазном источнике питания.
Схема соединения $Y-0 / \Delta$**



**Рисунок 3.4 - Схема установки при однофазном источнике питания.
Схема соединения Y / Y**

Содержание отчета

1. Цель работы и краткие теоретические сведения.
2. Схема испытательной установки и ее описание.
3. Данные измерений и вычислений.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Пояснить устройство магнитопроводов электрических машин и аппаратов.
2. Почему нельзя допускать нарушения изоляции между стальными пластинами магнитопровода?
3. По каким показателям можно сделать заключение, что изоляция между пластинами магнитопровода хорошая?
4. Почему при наличии коротко замкнутых витков в обмотках потери холостого хода трансформатора изменяются? Увеличиваются они или уменьшаются, и почему?
5. Почему данные испытания проводят на пониженном против номинального напряжении?
6. Почему данные испытания проводят до измерения сопротивления обмоток постоянному току?
7. Почему при проведении данного испытания предпочтение отдается схеме подачи напряжения поочередно на две фазы, а не по трехфазной схеме?
8. Зачем третью обмотку ВН замыкают накоротко во время испытания при возбуждении двух других?
9. Почему испытательное напряжение подают на обмотку ВН, а не на НН?
10. По какой формуле результаты испытания, полученные при пониженном напряжении, приводят к номинальному напряжению обмотки ВН трансформатора?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 – НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДО 1000 В

Цель работы:

Постановка задачи овладения принципами и методами испытаний и наладки асинхронных электродвигателей низкого напряжения перед включением их в работу.

Краткие теоретические сведения

Имеется две разновидности асинхронных электродвигателей: с коротко замкнутым ротором Рисунок 3.5, с фазным ротором. В первом случае обмотка ротора не изолируется от стального сердечника; закладывается в пазы сердечника в виде алюминиевых стержней; по торцам ротора эти стержни закорачиваются алюминиевыми оброчками. Во втором случае обмотка ротора изолируется от ротора; соединяется в звезду или треугольник в зависимости от подведенного напряжения. Ее выводы подсоединяются на роторе к трем специальным изолированным друг от друга и от стального сердечника контактными кольцам. Посредством контактных щеток обмотка ротора соединяется с трехфазным пусковым реостатом. Включением активного сопротивления реостата в цепь обмотки ротора увеличивается пусковой момент двигателя (поэтому асинхронные двигатели с фазным ротором применяются для привода механизмов с тяжелыми условиями их пуска).

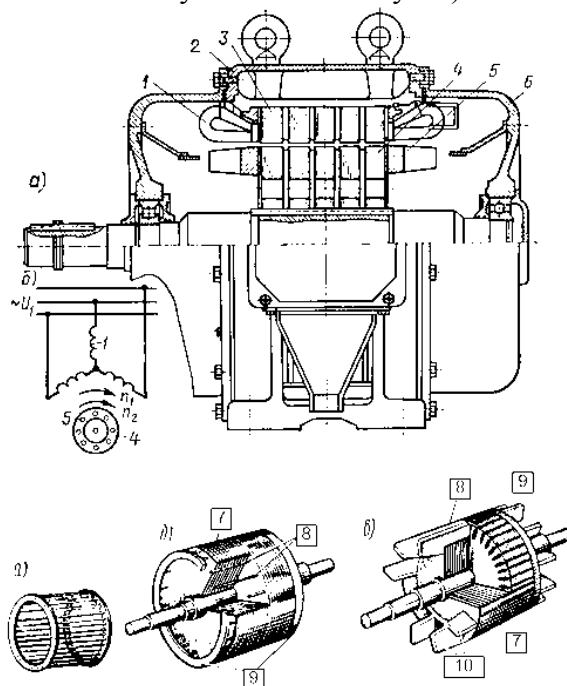


Рисунок 3.5 - Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором и конструкция ротора

1 – обмотка статора, 2 – станина, 3 – сердечник статора, 4 – сердечник ротора, 5 – обмотка ротора, 6 – подшипниковый щит, 7 – сердечник ротора в увеличенном виде, 8 – стержни, 9 – короткозамкнутые кольца, 10 – лопасти вентилятора.

Испытания электродвигателей переменного тока проводятся для оценки состояния изоляции и выявления образующихся в ней дефектов.

Для изоляции обмоток электрических машин применяется большое количество разнообразных электроизоляционных материалов (бумага, лакоткань, асбест, микалента, миканит, эскапон, лаки, компауды и т.п.), выбор которых определяется условиями работы машины и характеризуется нагревостойкостью, относительной влажностью окружающей среды, регламентным числом пусков и реверсов, механической прочностью, изонстойкостью и другими критериями.

Изоляция электрических машин является наиболее существенной частью, которая определяет надёжность и срок службы машины в основном по причине старения под действием различных факторов.

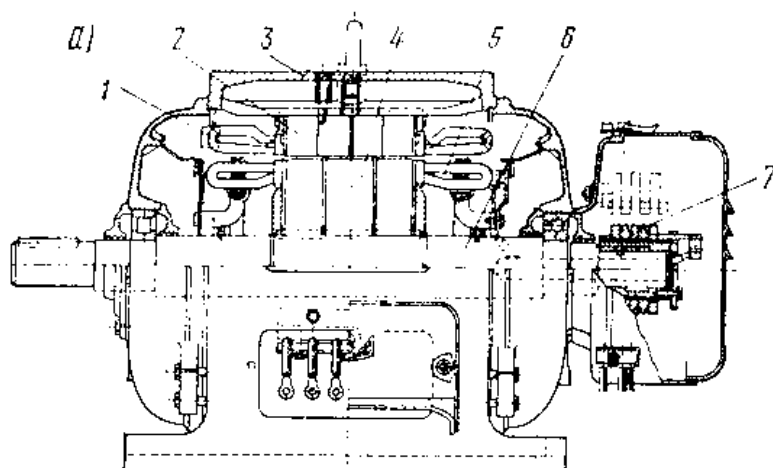


Рисунок 3.6 - Асинхронный электродвигатель с фазным ротором

1 – обмотка статора, 2 – сердечник статора, 3 – станина, 4 – сердечник ротора,
5 – обмотка ротора, 6 – вал, 7 – кольца.

Основной причиной повреждения изоляции электродвигателей является совместное действие тепловых, механических и электрических воздействий, а также влияние окружающей среды (влажность, загрязнённость, высокая температура и т.д.). Тепловое старение органических составляющих изоляции (смолы, бумага, ткани) сильно снижает электрическую прочность машинной изоляции. Неорганические составляющие (слюда, стекло, асбест) не подвержены тепловому старению при обычных для электродвигателей рабочих температурах. Тепловое старение делает изоляцию уязвимой для механических воздействий. При работе машин их обмотки подвергаются воздействию электрических усилий от действия электромагнитных сил при нормальных или аварийных режимах, что приводит к их перемещению. Кроме того, обмотки подвержены воздействию сил, возникающих при тепловых расширениях неодинаковых для различных частей.

Для новой изоляции все эти воздействия не представляют большой опасности, но при потере механической прочности, изоляция менее способна противостоять обычным условиям вибрации или ударов, разности тепловых расширений и сжатий меди, стали и конструктивных деталей.

Наиболее характерными видами дефектов изоляции обмоток электрических машин являются местные дефекты (трещины, расслоения, воздушные включения, местные перегревы, истирания и т.п.), охватывающие незначительную часть площади изоляции.

Оценка качества изоляции обмоток, концевых выводов и других элементов вращающихся машин производится при монтаже и в процессе эксплуатации и включает в себя внешний осмотр, проверку правильности маркировки выводов и полярности обмоток, измерение сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции, измерения тока утечки на выпрямленном напряжении, испытание повышенным напряжением промышленной частоты, измерение сопротивления обмоток постоянному току, измерение воздушного зазора между сталью ротора и статора, измерение зазоров в подшипниках скольжения, проверка работы электродвигателя на холостом ходу, измерение вибрации подшипников электродвигателя, измерение разбега ротора в осевом направлении, проверка работы электродвигателя под нагрузкой, проверка исправности стержней короткозамкнутых роторов, испытание возбудителей.

В объем приемо-сдаточных испытаний низковольтных асинхронных двигателей входят следующие работы:

1. Определение концов обмоток.
2. Измерение сопротивления обмоток статора постоянному току.

С учетом поправки на температуру это сопротивление должно соответствовать паспортным данным, а при их отсутствии - данным, одинаковым для всех трех фаз. Если оно занижено, можно предположить наличие короткозамкнутых витков в обмотке, сопротивление которой меньше сопротивления обмоток других фаз. Сопротивление обмотки постоянному току увеличивается, если плохо выполнены контактные соединения. Во всех случаях при обнаружении такого рода дефектов необходимо установить наблюдение за работой двигателя под нагрузкой. Если нагрев двигателя находится в допустимых пределах, его оставляют в работе, в противном случае обмотку следует перемотать.

3. Определение полярности обмоток полярометром.

4. Соединение обмоток в трехфазную группу: по схеме звезда-при напряжении 380/220 В или по схеме треугольника -при напряжении 220/127 В.

5. Измерение сопротивления изоляции обмотки статора мегаметром по отношению к магнитопроводу. Сопротивление не должно быть меньше 0,5 МОм, в противном случае следует выяснить причину неисправности и устранить ее.

6. Проверка схемы и величины сопротивления заземления корпуса двигателя на землю.

7. Проверка схемы питания двигателя, устройств защиты от коротких замыканий, схемы управления.

8. Пробный пуск двигателя на холостом ходу. В случае вращения в обратную сторону двигатель отключают от сети и меняют местами две любые фазы на клеммах двигателя.

Задание на подготовительную работу

1. Изучить теоретическую часть инструкции и составить **протокол** пуско-наладочных работ.
2. Убедиться в наличии необходимого оборудования и приборов для выполнения работ.
3. Ответить устно на контрольные вопросы

Последовательность выполнения работы

1. Определить начала и концы обмоток статора. Заготовить и повесить на них соответствующие бирки. Данная работа выполняется с помощью омметра.

2. Измерить сопротивления постоянному току обмоток статора Рисунок 3.7.

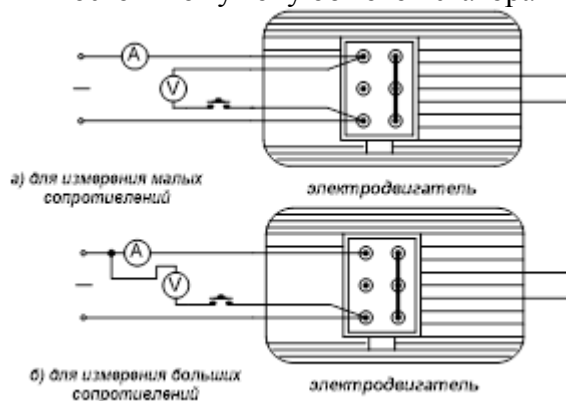


Рисунок 3.7 - Измерение постоянному току обмоток статора

Измерение проводится либо с помощью моста постоянного тока, либо с помощью амперметра и вольтметра, ориентируясь в дальнейшем на падение напряжения на обмотке.

Величина тока, при измерении методом падения напряжения, не должна превышать 1/5 номинального тока обмотки электродвигателя. При измерениях этим методом выбирают схему в соответствии с величиной измеряемого сопротивления

3. Измерить сопротивление изоляции обмотки статора по отношению к корпусу с помощью мегаомметра по схеме Рисунок 3.8. Полученные результаты сопоставить с нормативом.

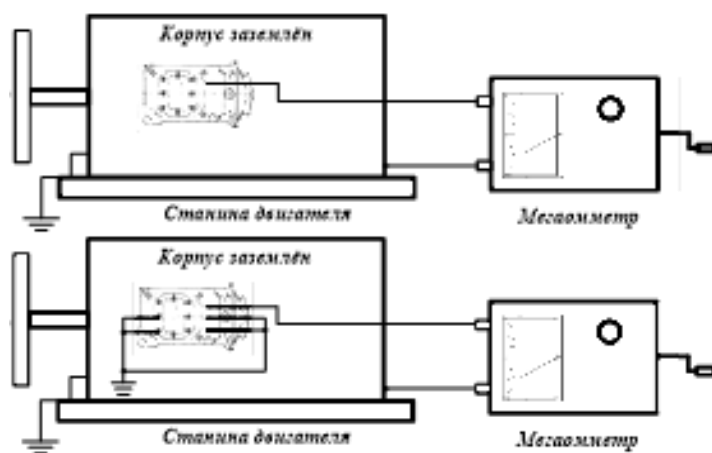


Рисунок 3.8 - Измерение сопротивления изоляции по отношению к корпусу

4. С помощью полярметра определить полярность обмоток. Полярность обмоток отметить на бирках.

При определении полярности соединения обмоток выключатель, который подключает источник питания к обмотке электродвигателя, следует замыкать резко и при этом смотреть за стрелкой гальванометра (полярметра). Отклонение стрелки вправо означает, что гальванометр и батарейка подключены аналогично друг другу. Иными словами если к началу обмотки С1 подключен «+» батареи, то аналогичный полюс гальванометра подключен к началу другой части обмотки (например С3). Если перед началом проведения данных испытаний звезда разобрана, то на результатах это не скажется, т.к. магнитный поток передаётся через статор электродвигателя

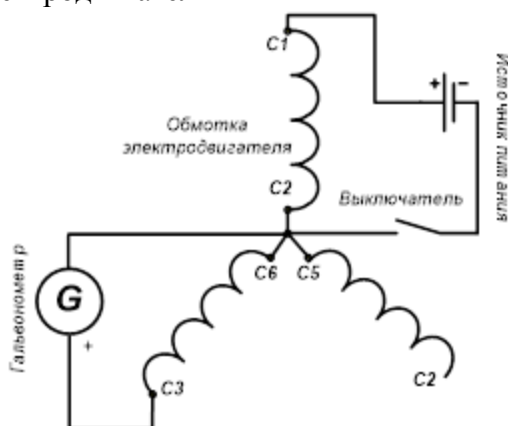


Рисунок 3.9 - Измерение полярности обмоток

5. Соединить обмотки в трехфазную группу по схеме треугольника (напряжение питания в лаборатории 220/127 В).

6. Собрать схему питания двигателя.

7. Осуществить пробный пуск двигателя на холостом ходу. Вращение ротора должно быть по часовой стрелке, если смотреть со стороны вала.

8. Если направление вращения вала двигателя не соответствует требуемому, схему питания двигателя необходимо отсоединить от сети, поменять между собой две фазы на клеммах статора, и п. 7 повторить.

9. По завершении работы поставить в известность преподавателя, и по его распоряжению разобрать схему.

10. Заполнить протокол испытаний и измерений

Протокол испытаний и измерений

Протокол №_ _

Основные данные электродвигателя:

Тип	Предприятие - изготовитель	Номер	Год изготовления	Мощность (кВт)	Ном. напряжение (В)	Ном. ток (А)	Частота вращения (об/мин)

Результаты испытаний

1 Сопротивление обмоток постоянному току и сопротивление изоляции:

Обозначение выводов обмоток статора	Сопротивление (Ом)	При температуре двигателя (С)	Сопротивление по заводским данным (Ом)	Сопротивление изоляции (МОм)		Коэффициент абсорбции
				R ₁₅	R ₆₀	

2 Изоляция обмотки статора испытана напряжением 50 Гц _____ кВ в течение _____ мин.

3 Полярность выводов обмотки соответствует заводской маркировке _____.

4 Проверена работа электродвигателя на холостом ходу в течение _____ минут.

5 Сопротивление изоляции пусковых устройств не менее _____ МОм.

6 Измерение сопротивления изоляции проводов и кабелей электродвигателя:

Наименование участка питающего кабеля (провода)	Сопротивление изоляции (МОм)							Норма (МОм)
	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1-N	L2-N	L3-N	N-PE	

Дополнительные проверки

4. Условия окружающей среды при проведении измерений:

4.1. Температура воздуха _____ °С

4.2. Влажность _____ %

4.3. Атмосферное давление _____ мм. рт. ст.

5. Измерительные приборы:

Наименование	Тип	Зав.№	Характеристики		Дата Поверки
			Напряжение, В	Погрешность	

Содержание отчета

В отчет включаются:

1. Формулировка цели работы.

2. Программа пуско-наладочных работ и протокол испытаний и измерений.

3. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как определить концы обмоток статора?

2. Как определить полярность обмоток?

3. Как производится измерение сопротивления изоляции обмотки статора по отношению к корпусу?

4. О чем говорит тот случай, если сопротивление постоянному току одной из фаз обмотки больше сопротивлений других фаз?

5. Как изменить направление вращения двигателя?

6. Почему корпус двигателя необходимо заземлять?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 – ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цель работы:

Изучение способов определения коэффициента трансформации силовых трехфазных трансформаторов при пусконаладочных работах

Краткие теоретические сведения

Обмотку высшего напряжения (ВН) принято называть первичной, низшего (НН) - вторичной.

Коэффициентом трансформации трансформаторов называется отношение ЭДС обмотки ВН к ЭДС обмотки НН и также понимают отношение количества витков на ВН и НН

$$K_{\text{тр}} = \frac{E_{\text{ВН}}}{E_{\text{НН}}} = \frac{\omega_{\text{ВН}}}{\omega_{\text{НН}}} \quad (3.5)$$

К сожалению, при пусконаладочных работах мы не можем подсчитать количество витков. Невозможно замерить и величину ЭДС обмоток. При подаче напряжения на одну из обмоток, например, первичную, по ней будет протекать ток холостого хода трансформатора. Этот ток вызовет падение напряжения на активно-индуктивном сопротивлении этой обмотки, и мы замерим лишь модуль вектора напряжения. Величина падения напряжения будет незначительна по величине и тем меньше, чем ниже испытательное напряжение. По этой причине и по условиям техники безопасности испытание коэффициента трансформации при пуско-наладочных работах обычно производят на низком напряжении 380 или 220 В и принимают допущения

$$E_1 = U_1, \Delta U_0 \approx 0 \quad (3.6)$$

При проведении данного опыта вторичная обмотка остается разомкнутой, по ней ток не протекает, и мы измеряем там модуль ЭДС E_2 , т.е.

$$E_2 = U_2 \quad (3.7)$$

Таким образом, в условиях пусконаладочных работ коэффициент трансформации представляют как отношение модулей напряжений обмоток ВН к НН при холостом ходе трансформатора

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{ВН}}}{U_{\text{НН}}} \quad (3.8)$$

Необходимо помнить, что подача напряжения на обмотку НН приводит к появлению высокого напряжения на обмотке ВН. Например, при подавлении напряжения 220 В к обмотке 10 кВ трансформатора 320/10 кВ на обмотке 220 кВ будет напряжение 4840 В, что опасно для жизни людей. Поэтому источник питания следует подключить к обмоткам ВН. Обмотка ВН имеет большее количество витков по сравнению с количеством витков обмотки НН, в связи с чем ее сопротивление постоянному току выше, ее выводы имеют меньшее сечение проводника и более усиленную изоляцию на проходных изоляторах крышки. По комплексу этих факторов определяют первичную обмотку.

Коэффициент трансформации трехфазных трансформаторов можно исследовать при подаче питания на первичную обмотку от трехфазной сети по схеме Рисунок 3.10, а также при питании от однофазной сети по схеме Рисунок 3.11 при выведенной на крышку трансформатора нулевой точке или по схеме Рисунок 3.12 без выведенной нулевой точки. В последнем случае при соединении обмоток по схеме свободную обмотку НН закорачивают, чтобы исключить протекание по ней тока.

Проверка коэффициента трансформации производится по схеме представленной на Рисунок 3.10.

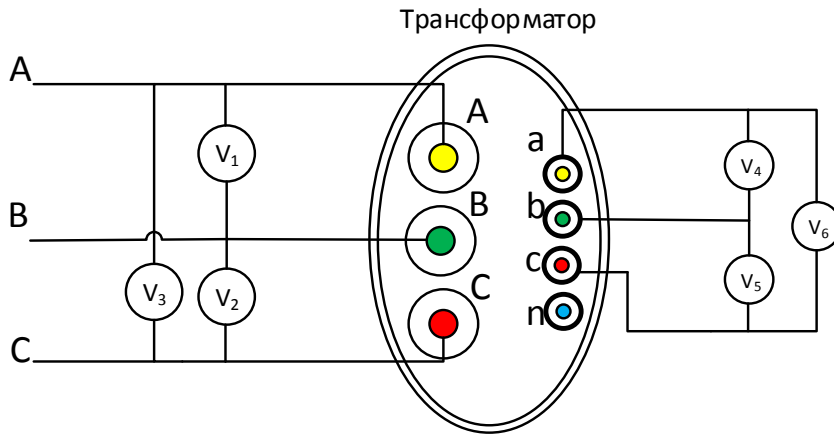


Рисунок 3.10 - Измерение коэффициента трансформации трансформатора при трехфазном источнике питания

Коэффициент трансформации при трехфазном источнике питания рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{тр}} = \frac{K_1 + K_2 + K_3}{3}, \quad (3.9)$$

где $K_1 = U_1/U_4$; $K_2 = U_2/U_5$; $K_3 = U_3/U_6$.

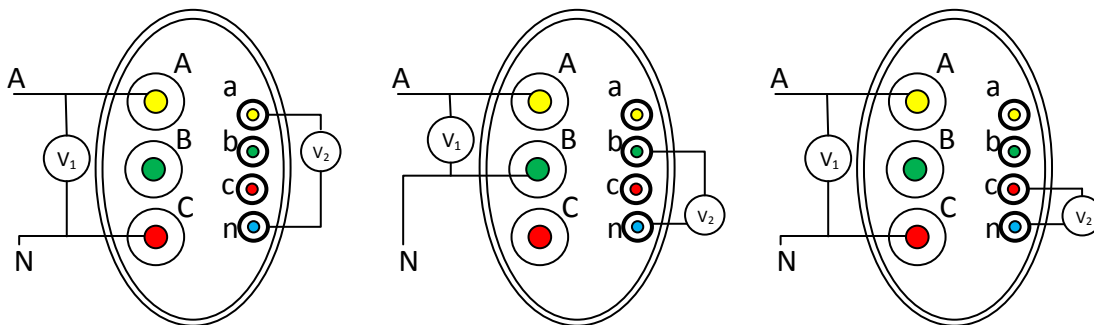


Рисунок 3.11 - Измерение коэффициента трансформации трансформатора при однофазном источнике питания (схема соединения - звезда)

Коэффициент трансформации при однофазном источнике питания

$$K_{\text{тр}} = \sqrt{3}K_{\text{ср}}, \quad (3.10)$$

где $K_{1\text{ср}} = U_{AC}/U_{an}$; $K_{2\text{ср}} = U_{AB}/U_{bn}$; $K_{3\text{ср}} = U_{AC}/U_{cn}$.

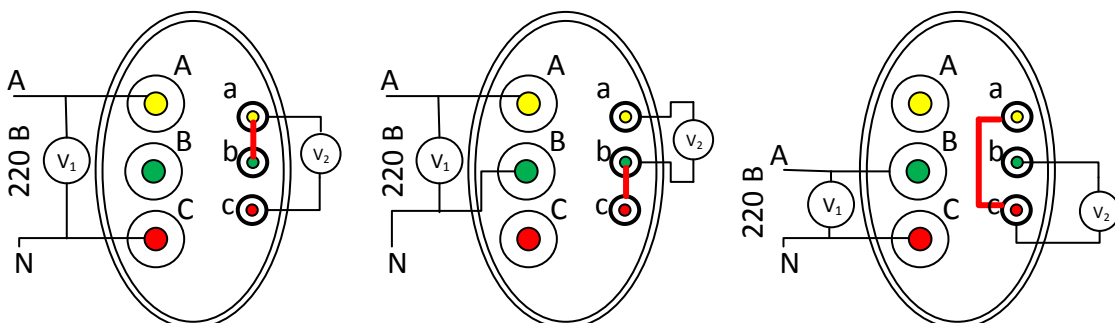


Рисунок 3.12 - Измерение коэффициента трансформации трансформатора при однофазном источнике питания (схема соединения - треугольник)

Коэффициент трансформации при однофазном источнике питания

$$K_{\text{тр}} = \sqrt{3}K_{\text{ср}}, \quad (3.11)$$

где $K_{1\text{ср}} = U_{AC}/2U_{ac}$; $K_{2\text{ср}} = U_{AB}/2U_{ab}$; $K_{3\text{ср}} = U_{BC}/2U_{bc}$.

По коэффициенту трансформации и сопротивлению обмоток постоянному току судят о состоянии контактов переключателя ответвлений (ПБВ или РПН) паек проводов в обмотках и наличии и отсутствии витковых замыканий. Коэффициент трансформации не должен отличаться более чем на 2% от значений, полученных на соответствующих ответвлениях других фаз, или от заводских значений. Кроме того, для трансформаторов с РПН разница коэффициентов трансформации не должна превышать значения ступени регулирования.

Задание на подготовительную работу

1. Изучить и законспектировать теоретическую часть работы.
2. Вычертить испытательные схемы рис. 3.1, 3.2, 3.3.
3. Подготовить таблицы для данных измерений.
4. Ответить устно на контрольные вопросы.

Порядок выполнения работы

1. Выяснить, которая из обмоток трансформатора является первичной, а которая - вторичной, и согласовать свои выводы с преподавателем.
2. Собрать испытательную схему
3. Вывести ЛАТР на нуль и подключить его к сети.
4. Контролируя вольтметром напряжение на обмотке ВН трансформатора, установить испытательное напряжение в пределах 200 В.
5. Выполнить необходимые измерения и заполнить протокол испытаний

ПРОТОКОЛ № _____

Испытания силового трансформатора с ПБВ напряжением до 35 кВ и мощностью до 6300 кВА включительно

1. Основные данные

Тип	Завод изготовитель	Зав №	Год изготовления	Номин. напряж. обмоток, кВ		U кз., %	Группа соедин.
				ВН	НН		

2. Результаты испытаний.

2.2. Проверка коэффициента трансформации.

Положение	А-В, В	а-в, В	K _{тр.ном}	K _{тр.изм}	В-С, В	б-с, В	K _{тр.ном}	K _{тр.изм}	С-А, В	с-а, В	K _{тр.ном}	K _{тр.изм}
	ПБВ											

Наибольшее отличие коэффициента трансформации от расчетного значения составляет _____% на _____ положении переключателя для фаз _____.

3. Условия окружающей среды при проведении измерений:

- 3.1. Температура воздуха _____°С
- 3.2. Влажность _____%
- 3.3. Атмосферное давление _____мм. рт. Ст

1. Измерительные приборы:

Наименование	Тип	Зав.№	Характеристики		Дата Поверки
			Напряжение, В	Погрешность	

Нормативно-технический документ: ТКП 339-2011.

2. Заключение

Содержание отчета

1. Цель работы и краткие теоретические сведения.
2. Схемы лабораторных опытов.
3. Протокол измерений и вычислений.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под коэффициентом трансформации трансформатора
2. Почему коэффициент трансформации испытывают при пониженном напряжении?
3. Поясните варианты испытательных схем.
4. Почему и между какими выводами обмотки НН необходимо устанавливать перемычку в схеме испытания при ее соединении по схеме треугольника?
5. Почему нельзя подавать испытательное напряжение на обмотку НН при проведении данного опыта?
6. Для каких целей и выводов используется полученный коэффициент трансформации в процессе пусконаладочных работ?

Литература

1. Мусаэлян Э.С. Наладка и испытание электрооборудования электростанций и подстанций: Учебник для техникумов. -3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - С. 170-181.
2. Камнев В.Н. Пусконаладочные работы при монтаже электроустановок: Учеб. пособие для средних проф.-тех. училищ. - М.: Высш. школа, 1977. - С. 267-269

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 – ИСПЫТАНИЕ СИЛОВЫХ КОСИНУСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Цель работы:

Изучение общих положения по проверке косинусных конденсаторов и приобретение практических навыков для определения их емкости.

Основные теоретические сведения

Одним из основных мероприятий по снижению потерь электрической энергии и повышению качества напряжения является снижение коэффициента реактивной мощности $tg \varphi$ (повышение коэффициента $\cos \varphi$) электроустановок за счет местных источников реактивной мощности. Наиболее экономичным и распространенным источником реактивной мощности являются конденсаторные установки (КУ), комплектуемые из силовых косинусных конденсаторов. Они имеют низкие удельные стоимости, малые потери, их можно устанавливать практически в любой точке сети и любой необходимой мощности.

Косинусные конденсаторы предназначены для повышения коэффициента мощности электроустановок переменного тока частоты 50Гц как для групповой, так и для индивидуальной компенсации.

Конденсаторы применяемые для защиты вращающихся машин от атмосферных перенапряжений устанавливаются на стороне высокого напряжения в ЗРУ-10кВ и подключаются параллельно вентильным разрядникам или ОПН. При этом три конденсатора собираются в звезду и общая точка схемы соединяется с землей.

Конденсаторы связи применяются в установках высокочастотной связи для разделения цепей высокого и низкого напряжения.

Косинусные конденсаторы напряжением 220, 380, 500 к 660 В изготавливаются обычно в трехфазном исполнении с соединением фаз в треугольник. Конденсаторы напряжением выше 1000 В изготавливаются только в однофазном исполнении.

Испытания косинусных конденсаторов выполняются в соответствии с Правилами устройства электроустановок и в общем случае включает:

1.Измерение мегомметром 2500 В сопротивления изоляции относительно корпуса конденсатора и между его выводами,

2.Намерение емкости при температуре 16 - 35°C.Измерение емкости конденсатора должно проводиться не только при монтаже, но и во время эксплуатации, так как для обеспечения селективности защита КУ должна быть отстроена от величины начального небаланса, возникающего из-за различия емкости отдельных конденсаторов. Особенно это условие необходимо учитывать при замене неисправного конденсатора новым конденсатором во время эксплуатации

3.Испытание повышенным напряжением промышленной частоты (кроме конденсаторов, имеющих один вывод, соединенный с корпусом) в течение 1 мин. Значения испытательного напряжения указана в заводских паспортах конденсаторов.

4. Испытание конденсаторов трехкратным включением на номинальное напряжение с контролем токов по каждой фазе. Токи в фазах должны отличаться один от другого не более, чем на 5%.

В данной работе определяется емкость трехфазного конденсатора типа КЭК 1-0, 4-30 - ЗУЗ с номинальным напряжением 0,4 кВ, мощностью 30 кВА, фазы которого соединены треугольником. Схема измерения емкости представлена на рис. 8.1

Измерение ёмкости конденсаторов производится в соответствии со схемой, представленной на рисунке 6.

Измерение ёмкости с помощью амперметра – вольтметра производится по схеме, представленной на рисунке 7, с подачей переменного напряжения частоты 50Гц. При этом

величина напряжения должна быть определена расчётным путём и не должна превышать номинальное значение конденсатора.

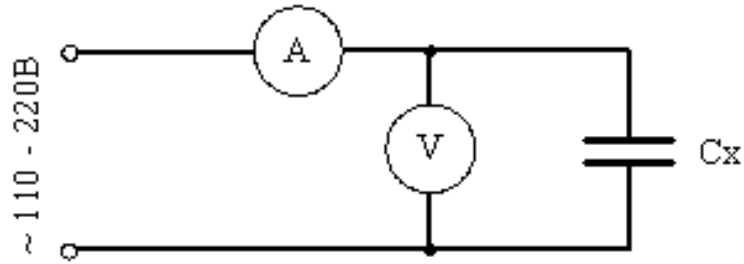


Рисунок 3.13 - Схема измерения емкости

После производства измерений однофазных конденсаторов методом амперметра - вольтметра необходимо произвести расчёт ёмкости конденсатора по полученным значениям тока и напряжения

Аналогичные измерение производят при определении ёмкости трёхфазных конденсаторов. Но в этом случае существуют некоторые особенности. Схема измерения представлена на рисунке 8. Производится три измерения.

Полученные результаты обрабатываются следующим образом:

- Определяется ёмкость в каждом измерении по формуле, приведённой выше, исходя из значений тока и напряжения

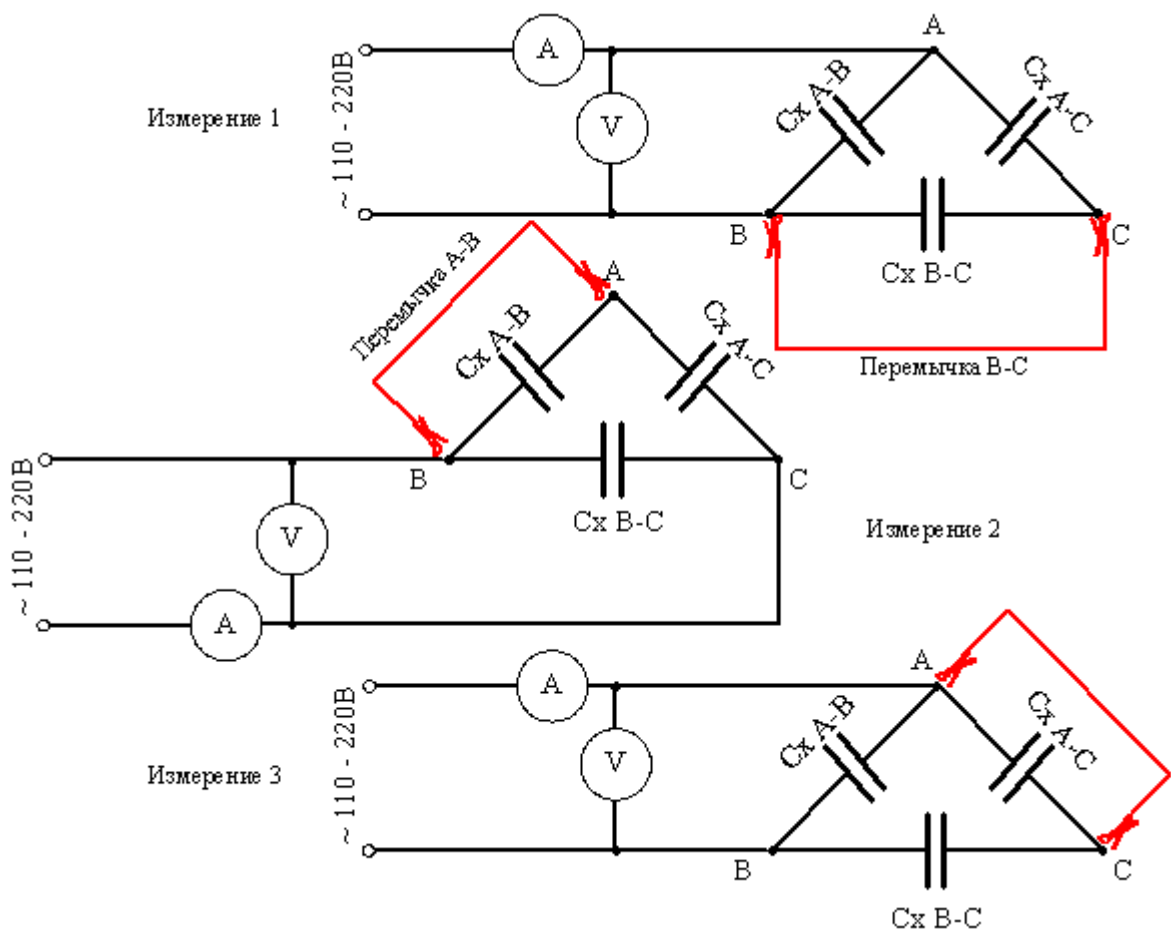


Рисунок 3.14 – Схема измерения емкости

- Ёмкость каждой фазы определяется по формулам:

$$C_{B-C} = (C_{X A-C} + C_{X B-C} - C_{X A-B}) / 2$$

$$C_{A-B} = (C_{X A-B} + C_{X B-C} - C_{X A-C}) / 2$$

$$C_{A-C} = (C_{X A-B} + C_{X A-C} - C_{X B-C}) / 2$$

- Полная ёмкость конденсатора определяется по формуле:

$$C = (C_{B-C} + C_{A-B} + C_{A-C}) / 3$$

Ёмкости отдельных фаз не должны отличаться более чем на 5%.

Задание на подготовительную работу

1. Изучить и законспектировать теоретическую часть работы.
2. Вычертить схему измерения емкости и подготовить таблицу для результатов измерения.
3. Устно ответить на контрольные вопросы.

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему для измерения емкости
2. Плавно изменяя напряжение до 30 В, замерить ток и) определить емкость C_x . Результаты занести в таблицу
3. Снизить напряжение до нуля, отключить схему от сети и через 3-5 минут разрядить конденсатор через сопротивление (реостат).
4. Выполнить п. 2 и п. 3 для измерения №2 и №3
5. Рассчитать полную емкость конденсатора. Данные измерений и результаты вычислений показать преподавателю.
6. Разобрать схему и навести порядок на рабочем месте.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Схема измерения емкости.
4. Данные измерений и результаты вычислений.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение косинусных конденсаторов.
2. Что включает в себя испытание конденсаторов?
3. Зачем измеряются емкости конденсаторов?
4. Как определяется емкость конденсаторов?
5. Как определяется полная емкость трехфазного конденсатора?
6. Какие меры предосторожности и почему принимаются при работе с конденсаторами?

4 ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

- 1 Кисаримов, Р. А. Наладка электрооборудования [справочник] / Р. А. Кисаримов.— Изд. 2-е, стер. изд.— Москва: РадиоСофт, 2012.— 352 с.
- 2 Кузнецов, А. П. Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи / А. П. Кузнецов; Под ред. Энергоатомиздат.— 1989.— 94 с.
- 3 Мусаэлян, Э.С. Наладка и испытание электрооборудования электростанций и подстанций / Э.С. Мусаэлян.— 2-е изд., перераб и дополн. изд.— М: Энергия, 1979.— 464 с.
- 4 Воротницкий В.Э., Железко Ю.С. Казанцев В.Н. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / Железко Ю.С. Казанцев В.Н. Воротницкий, В.Э.; Ed. by Казанцева В.Н.— М: Энергоатомиздат, 1983.— 368 с.
- 5 Забокрицкий, Е. И. Справочник по наладке электроустановок и электроавтоматики / Е. И. Забокрицкий, Б. А. Холодовский, А. И. Митченко.— Изд. 3-е, перераб. и доп.. изд.— Киев: Наукова думка, 1985.— 702 с.
- 6 Baran, M. Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system / M. Baran, F. F. Wu // IEEE Transactions on Power Delivery.— 1989.— Vol. 4, № 1.— P. 735–743.
- 7 Арзамасцев, Д. А. Снижение технологического расхода энергии в электрических сетях / Д. А. Арзамасцев, А. В. Липес.— М, 1989.— 127 с.
- 8 Аттетков, А. В. Введение в методы оптимизации / А. В. Аттетков, В. С. Зарубин, А. Н. Канатников.— М: Инфра-М, 2008.— 380 с.
- 9 Фурсанов, М. И. Методология и практика расчетов потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем / М. И. Фурсанов.— Минск: Тэхналогія, 2000.— 247 с.
- 10 Фурсанов, М. И. Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем / М. И. Фурсанов.— Минск: УВИЦ при УП "Белэнергосбережение2005.— 208 с.
- 11 Инструкция по учету потерь электроэнергии в сетях районных энергоуправлений (энергокомбинатов).— М.-Д.: Госэнергоиздат, 1952.— 68 с.
- 12 Инструкция по снижению технологического расхода электрической энергии на передачу по электрическим сетям энергосистем и энергообъединений: Утв. Гл. научн.-техн. упр. Энергетики и электрификации 31.03.86г.:И 34-70-030-87:Срок действия установлен с 01.01.88г. до 01.01.98г.— М: Союзтехэнерго, 1987.— 84 с.
- 13 Карпов, Ф. Ф. Регулирование напряжения в электросетевых промышленных предприятиях / Ф. Ф. Карпов, Л. А. Солдаткина.— М: Энергия, 1970.— 1970 с.11

- 14 Костин, В.В. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения: Учеб. пособие / В.В. Костин.— СПб: СЗТУ, 2004.— 184 с.
- 15 Сибикин, Ю.Б. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб. пособие для проф. учеб. заведений / Ю.Б. Сибикин.— М: Высшая школа, 2003.— 462 с.
- 16 Азарьев, Д. И. Математическое моделирование электрических систем / Д. И. Азарьев.— М, 1962.— 207 с.
- 17 Баркан, Я. Д. Эксплуатация электрических систем: Учеб. пособие для электрэнергоэнергет. спец. вузов / Я. Д. Баркан.— М: Высшая школа, 1990.— 304 с.
- 18 Короткевич, М. А. Основы эксплуатации электрических сетей / М. А. Короткевич.— Минск: Высшая школа, 1999.— 267 с.
- 19 Мандрыкин, С. А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования станций и сетей: Учебник для техникумов / С. А. Мандрыкин, А. А. Филатов.— 2-е изд. перераб и доп изд.— М: Энергоатомиздат, 1983.— 344 с.
- 20 Муллин, В.В. Физические процессы в вакуумных дугогасительных камерах и технические решения их разработки, производства и эксплуатации: Дис... докт. техн. наук: 05.27.02.— Саратов, 2015.— 203 с.
- 21 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей : Утв. Главгосэнергонадзором Минэнерго СССР 21.12.84 : Обязательны для потребителей электроэнергии министерств и ведомств.— 1997.— 391 с.
- 22 Электроэнергетика Содружества Независимых Государств 2002-2012.— М: Исполнительный комитет электроэнергетического совета СНГ, 2013.— 219 с.
- 23 О мерах по повышению эффективности использования электрической и тепловой энергии : Указ Президента Респ. Беларусь, 20 март. 1996 г., № 209 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 1999. – № 33. – 1/291