ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Т.Г. ШЕВЧЕНКО

Аграрно-технологический факультет

Кафедра Эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ

Методические указания

Тирасполь, 2016

УДК 621.31(072.5)
ББК 3280.1р30
Э41

Составитель
А.Н. Попескул, ст. преп.

Рецензенты:
Ф.М. Ерхан, д-р. техн. наук, профессор кафедры технических систем и электрооборудования в АПК
В.С. Попеску, д-р. техн. наук, доцент кафедры электрификации и автоматизации сельской местности Государственного Аграрного университета республики Молдова

Э41 **Эксплуатация электрооборудования и средств автоматики**: Методические указания / Сост. А.Н. Попескул. – Тирасполь, 2016. – 117 с.

Методические указания составлены в соответствии с утвержденным учебным планом и программой по дисциплине «Эксплуатация электрооборудования и средств автоматики» к лабораторным работам для студентов очной и заочной форм обучения направления 35.03.06 «Агроинженерия» профиля «Электрооборудование и электротехнологии».

УДК 621.31(072.5)
ББК 3280.1р30

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко

© Попескул А.Н., составление, 2016

Введение

Электротехническая промышленность играет важную роль в решении задач электрификации, технического перевооружения всех отраслей народного хозяйства, механизации, автоматизации и интенсификации производственных процессов [4].

Научно-технический прогресс предполагает повышение производительности труда, технического уровня и качества продукции, радикальное улучшение использования материалов, топлива и энергии. Именно с этих позиций следует рассматривать вопросы технической эксплуатации и ремонта электрического и электромеханического оборудования [1].

Важную роль в обеспечении надежной работы и увеличении эффективности использования электрического и электромеханического оборудования играет его правильная эксплуатация, составными частями которой являются, в частности, хранение, монтаж, техническое обслуживание и ремонты.

Лабораторные работы являются важным элементом подготовки студентов при изучении курса «Эксплуатация электрооборудования». Они дают возможность закрепить теоретические знания и с помощью лабораторного оборудования на практике проверить некоторые положения теории, наглядно изучить принцип действия лабораторных установок для исследования различного электрооборудования и определения его эксплуатационных параметров.

Настоящие лабораторные работы способствуют более глубокому и детальному изучению предмета, образованию конкретных представлений об устройстве, принципах действия, основах монтажа и снятию характеристик электрооборудования, используемого в различных сферах сельскохозяйственного производства.

Выполнение лабораторных работ позволит студенту научиться самостоятельно решать задачи исследовательского характера, обрабатывать и анализировать полученные результаты опытов и делать соответствующие выводы.

Общие указания

Лабораторные работы могут быть проведены качественно и активно только при условии хорошей предварительной подготовки каждого студента к очередной работе. Эта подготовка включает изучение теоретического материала, относящегося к данной лабораторной работе, ее программы, описание аппаратуры, применяемой в работе, правил обслуживания аппаратуры и правил техники безопасности. Каждый студент должен иметь рабочую тетрадь, в которой при подготовке записываются следующие данные: электрическая схема работы, перечень необходимых измерительных приборов и аппаратуры, таблицы для записи опытных и расчетных данных.

В начале занятия руководитель путем ознакомления с рабочей тетрадью и опроса по существу и характеру работы проверяет подготовленность каждого студента. Неподготовленные студенты к работе не допускаются.

Для проведений работ студенты разбиваются на группы по три-четыре человека в каждой. Выполнение работы необходимо начинать с ознакомления с измерительными приборами, аппаратами и электрическими схемами. Номинальные данные приборов, приведенные в паспортах, записываются в рабочую тетрадь. Сборка схемы должна производиться так, чтобы соединительные проводники имели минимальное количество взаимных пересечений и свободно располагались на рабочем месте. Проводники, находящиеся под высоким напряжением, должны быть надежно закреплены и удалены на достаточное расстояние друг от друга, а также от заземленных частей.

Особое внимание при сборке схемы надлежит обратить на достаточную плотность контактов в цепях как низкого, так и высокого напряжений. Все измерительные приборы перед включением схемы должны быть установлены на максимальные пределы измерения. Следует проверить, чтобы стрелки приборов были установлены на нулевое значение шкалы и приборы отрегулированы по уровню. Движки лабораторных

автотрансформаторов (ЛАТР) необходимо установить на нулевое положение.

По окончании сборки схема должна быть проверена студентами и только после этого она предъявляется руководителю работ для проверки.

Включение схемы под напряжение разрешается только с ведома руководителя работ.

Каждый студент обязан во время лабораторной работы вести запись наблюдений в рабочей тетради. После окончания очередного опыта необходимо проанализировать полученные результаты, выполнить контрольные расчеты и на основании этого убедиться в правильности проведения опыта.

Разборка схемы разрешается с ведома руководителя работ на основании анализа полученных результатов опыта. По выполненной работе к следующему занятию представляется отчет, который оформляется самостоятельно на специальном бланке. В некоторых работах по указанию руководителя отчет может быть заменен составлением протокола испытаний или измерений.

В отчете должны содержаться следующие основные данные:

1. Перечень приборов, аппаратов и машин, применяемых в данной работе, с указанием наименования, системы или типа, заводского номера и номинальных данных (по табличке или паспорту).

2. Схема работы и схема аппаратуры - принципиальная или принципиально-монтажная.

3. Таблицы опытных и расчетных данных и основные расчетные формулы, а также данные о температуре и давлении воздуха, его влажности и др.

4. Графические материалы в виде графиков и эскизов, снятых в процессе эксперимента (опыта).

5. Выводы и заключения по работе.

Отчет должен быть аккуратно оформлен, написан чернилами, все схемы, графики и диаграммы необходимо выполнять в карандаше с соблюдением требований ГОСТ в

отношении условных графических и буквенных обозначений с применением линейки, циркуля и лекала.

Графики строятся на миллиметровой бумаге путем нанесения масштабной сетки, обозначения и указания размерности величин, отложенных по осям. Размеры графиков часто выбираются в пределах 10×10 см.

В начале оси абсцисс и ординат, как правило, должны быть нулевые значения откладываемых величин. Переменная величина обычно откладывается по оси абсцисс. Все графики зависимостей от одной и той же переменной величины строятся в одной системе координат. Для различных кривых возможно применение различных масштабов.

Масштаб построения кривых выбирается так, чтобы число единиц измерения в единице длины, отложенной по оси, выражалось целыми числами. Для большей наглядности рекомендуется различные кривые оформлять различными цветами. Каждый отчет должен быть подписан исполнителем.

Отчет по лабораторной работе представляется руководителю на очередном занятии в лаборатории и считается принятым и зачтенным лишь в том случае, если результаты опытных данных правильны, если студент может теоретически обосновать данные опыта, обнаруживает знание принципов действия и конструкций измерительных приборов и аппаратуры, правил их обслуживания и техники безопасности. Студент, не представивший отчета, к очередной лабораторной работе не допускается.

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ

Соблюдение настоящих правил при наличии высокого напряжения на приборах и аппаратах, применяющихся при выполнении лабораторных работ, имеет особо важное значение, так как нарушение их может привести к серьезным случаям электротравматизма, вплоть до смертельных.

Для предотвращения случаев травматизма перед началом

выполнения лабораторной работы необходимо:

1. Изучить и в дальнейшем выполнять настоящие правила.

2. Изучить особые правила по безопасному обслуживанию аппаратов и приборов, изложенные в их описаниях.

3. Убедиться в наличии и исправности заземляющего провода у аппаратов и приборов, на которые будет поступать высокое напряжение, а также блокировочных устройств и сигнальных ламп.

4. Проверить наличие на каждом рабочем месте исправных и испытанных защитных средств: перчаток, ковриков и др.

Необходимо соблюдать следующие правила:

При монтаже схемы:

1. Приборы и аппараты, на которые будет поступать высокое напряжение, а также соединительные провода следует размещать так, чтобы не могли получаться пробои воздушного промежутка или замыкание на землю.

2. Приборы и аппараты необходимо надежно соединить имеющимися концами проводов, чтобы исключить обрывы в цепи во время работы.

3. Без разрешения руководителя нельзя включать под напряжение собранную схему.

При выполнении измерений:

1. Получив разрешение руководителя на включение схемы под напряжение, включающий должен предупредить работающих с ним, громко произнося слово «Включаю», после чего включить схему под напряжение. Остальные студенты при этом должны находиться на своих местах, не перемещаться по лаборатории и держать под наблюдением аппараты и приборы, а также соединительные провода схемы.

2. После подачи напряжения на аппараты и приборы нельзя касаться каких-либо проводов, из которых собрана схема, даже если эти провода имеют изоляцию, а также металлических

корпусов оборудования и защитных ограждений.

3. Напряжение на испытуемый объект или схему необходимо подавать с нуля и плавно повышать его со скоростью 1-2 кВ/с. В отдельных случаях руководитель имеет право разрешить подавать на схему или объект испытания напряжение значительной величины. Отключение схемы от напряжения производится после того, как напряжение будет снижено до нуля. Во избежание возникновения опасных перенапряжений включать или отключать схему при большой величине напряжения запрещается.

4. Вход за ограждения средней части установок, находящихся под высоким напряжением, изменение или переключение в схеме, переход на новые пределы измерения приборов следует производить только после отключения схемы от напряжения способом, указанным в п.3 и снятия остаточного заряда с испытуемого объекта.

Для снятия остаточного заряда с испытуемого объекта необходимо проверить присоединение заземляющей штанги к заземляющему контуру лаборатории, прикоснуться концом штанги к испытуемому объекту, при бору или аппарату. Накладывающий заземление должен быть одет в защитные средства по указанию руководителя.

5. При обнаружении неисправностей или каких-либо отклонений в режиме работы приборов, аппаратов, схемы или исчезновения напряжения в питающей сети необходимо отключить их, как указано в п.3, и доложить об этом руководителю.

6. Категорически запрещается студентам производить какие-либо включения или переключения на общих распределительных щитах лаборатории, замену предохранителей или проверку наличия напряжения.

7. За нарушение безопасности при выполнении лабораторных работ студенты несут ответственность в соответствии с общими требованиями техники безопасности.

Лабораторная работа №1

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Цели работы: Закрепить теоретические знания об устройстве защитного заземления электроустановок; Получить практические навыки по измерению сопротивления заземляющих устройств.

1. Теоретические сведения

Для защиты людей от поражения электрическим током в нормальном режиме работы электроустановок должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты от прямого прикосновения [2]:

- основная изоляция токоведущих частей;
- ограждения и оболочки;
- установка барьеров;
- размещение вне зоны досягаемости;
- применение сверхнизкого (малого) напряжения.

Для дополнительной защиты от прямого прикосновения в электроустановках до 1 кВ следует применять устройства защитного отключения (УЗО) с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мм.

В случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;

- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Требования защиты при косвенном прикосновении распространяются на:

1) корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т. п.;

2) приводы электрических аппаратов;

3) каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов, а также съемных или открывающихся частей, если на последних установлено электрооборудование напряжением выше 50 В переменного или 120 В постоянного тока;

4) металлические конструкции распределительных устройств, кабельные конструкции, кабельные муфты, оболочки и броню контрольных и силовых кабелей, оболочки проводов, рукава и трубы электропроводки, оболочки и опорные конструкции шинопроводов (токопроводов), лотки, короба, струны, тросы и полосы, на которых укреплены кабели и провода (кроме струн, тросов и полос, но которым проложены кабели с зануленной или заземленной металлической оболочкой или броней), а также другие металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование;

5) металлические оболочки и броню контрольных и силовых кабелей и проводов на напряжения, не превышающие 50 В переменного или 120 В постоянного тока, проложенные на общих металлических конструкциях, в том числе в общих трубах, коробах, лотках и т. п., с кабелями и проводами на более высокие напряжения;

6) металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;

7) электрооборудование, установленное на движущихся частях станков, машин и механизмов.

Заземлением называется преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или

оборудования с заземляющим устройством [5].

Защитным заземлением называется заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

Заземляющее устройство представляет собой совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлителем называется проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду. Заземлители бывают искусственные и естественные.

Искусственный заземлитель ρ заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

Естественный заземлитель - сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.

Заземляющим проводником называется проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей определены наибольшие допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств в период эксплуатации в зависимости от напряжения электроустановки и режима работы ее нейтрали (таблица 1.1) [7].

Таблица 1.1.

Наибольшие допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств электроустановок и опор воздушных линий электропередач

Характеристика электроустановки	Удельное сопротивление грунта ρ, Ом·м	Сопротивление. Ом
Электроустановки напряжением 110 кВ и выше сетей с эффективным заземлением нейтрали	до 500	0,5
	более 500	$0,002+0,5\rho$

Продолжение табл. 1.1.

Характеристика электроустановки	Удельное сопротивление грунта ρ, Ом·м	Сопротивление, Ом
Электроустановки напряжением 3–5–35 кВ сетей с изолированной нейтралью	до 500	250/ I_P*, но не более 10 Ом
	более 500	0,002ρ ·250/ I_P*
Электроустановки напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью напряжением, В: 660/380	до 100 (>100)	15** (150·0,01ρ)
380/220	до 100 (>100)	30** (30·0,01ρ)
220/127	до 100 (>100)	60** (60·0,01ρ)
Электроустановки напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью: При мощности источника питания более 100 кВ·А	до 500	50/ I_P*, но не более 4 Ом
При мощности источника питания более 100 кВ·А	более 500	50/ I_P*, но не более 10 Ом
Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ***		
Опоры ВЛ с устройством грозозащиты	–	30
Опоры с повторными заземлителями нулевого провода при напряжении источника питания: 660/380	–	15
380/220	–	30
220/127	–	60
Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ		
Опоры, имеющие грозозащитный трос или другое устройство грозозащиты, металлические и железобетонные опоры ВЛ 35 кВ и такие же опоры ВЛ 3-20 кВ в населенной местности, заземлители оборудования на опорах 110 кВ и выше	до 100	10***
	от 100 до 500	15***
	от 500 до 1000	20***
	от 1000 до 5000	30***
	>5000	0,006ρ ***

Продолжение табл. 1.1.

Характеристика электроустановки	Удельное сопротивление грунта ρ, Ом·м	Сопротивление, Ом
Электрооборудование, установленное на опорах ВЛ 3–5–35 кВ	–	250/ I_P*, но не более 10 Ом
Металлические и железобетонные опоры ВЛ 3–20 кВ в ненаселенной местности	до 100	30
	более 100	0,3ρ
Трубчатые разрядники на подходах к подстанциям с вращающимися машинами, вентильные разрядники на кабельных вставках подходов к подстанциям с вращающимися машинами	–	5
Вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений на подходах линий к подстанциям с вращающимися машинами	–	3
Опоры с тросом на подходах линий к подстанциям с вращающимися машинами	–	10

I_P* – расчетный ток замыкания на землю, в качестве которого принимается:

– в сетях без компенсации емкостного тока замыкания на землю – ток замыкания на землю;

– в сетях с компенсацией емкостного тока замыкания на землю:

для электроустановок, к которым присоединены компенсирующие аппараты - ток, равный 125% номинального тока наиболее мощного из этих аппаратов;

для электроустановок, к которым не присоединены компенсирующие аппараты - ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов.

** сопротивление заземляющего устройства с учетом повторных заземлений нулевого провода должно быть не более 2, 4, 8 Ом при линейных напряжениях соответственно 660, 380, 220 В источника трехфазного тока и напряжениях 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

*** для опор высотой более 40 м на участках ВЛ, защищенных тросом, сопротивление заземлителя должно быть в 2 раза меньше указанных в таблице.

В соответствии с действующими Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей измерение сопротивления заземляющих устройств должно производиться:

– после реконструкции и ремонта заземляющих устройств;

– при обнаружении разрушения или перекрытия изоляторов ВЛ электрической дугой;

– у опор воздушных линий электропередачи после ремонтов, но не реже 1 раза в 6 лет для ВЛ напряжением до 1000 В и 12 лет для ВЛ выше 1000 В на опорах с разрядниками и другим электрооборудованием и выборочно у 2 % железобетонных и металлических опор в населенной местности.

Измерения должны выполняться в период наибольшего высыхания грунта (для районов вечной мерзлоты – в период наибольшего промерзания грунта).

Для измерения сопротивления заземлителем создается искусственная цепь тока через испытываемый эаземлитель. Для этого на некотором расстоянии от испытываемого заземлителя располагается вспомогательный заземлитель, подключаемый вместе с испытываемым заземлителем к источнику питания. Для измерения падения напряжения в сопротивлении испытываемого заземлителя при прохождении через него тока в зоне нулевого потенциала располагается зонд.

В качестве вспомогательного заземлителя и зонда могут применяться стальные неокрашенные электроды диаметром 10 – 20 мм, длиной 0,8 – 1 м.

Электроды следует забивать в плотный естественный (не насыпной) 1рунт на глубину не менее 0,5 м.

Для измерения сопротивления заземляющих устройств должен применяться переменный ток, так как при постоянном токе в земле возникают ЭДС поляризации, искажающие результат измерения.

Измерение сопротивления заземляющих устройств производят:

– методом амперметра и вольтметра;

– с помощью специальных приборов (М 416, МС-08).

2. Измерение сопротивления заземляющих устройств методом амперметра и вольтметра

Измерения выполняют по схеме, приведенной на рис. 1.1. Питание схемы непосредственно от сети недопустимо из-за влияния проводимости изоляции сети на результат измерения. Для питания схемы могут быть использованы сварочные, нагрузочные и котельные трансформаторы.

Амперметр и вольтметр к испытываемому заземлителю следует подключать отдельными проводами, так как иначе при случайном отсоединении от заземлителя соединенных вместе проводов вольтметр окажется под полным напряжением и может быть поврежден.

Сущность метода заключается в измерении тока I_x, проходящего через испытываемый заземлитель, и напряжения U_x между заземлителем и зондом. Сопротивление испытываемого заземлителя равно $R_x = U_x / I_x$, Ом.

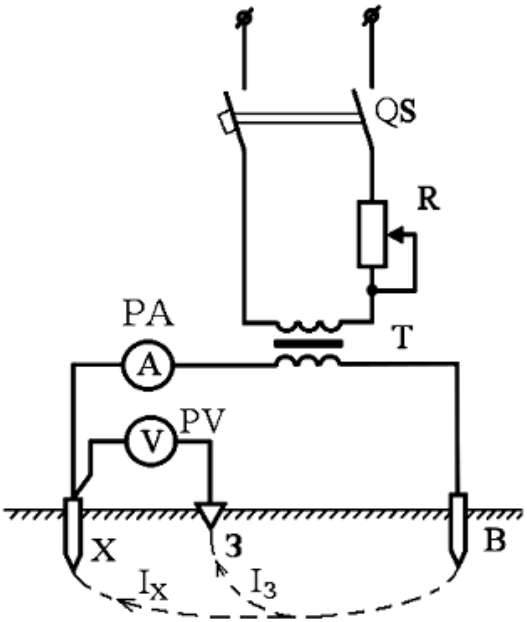


Рис. 1.1. Схема измерения сопротивления заземлителей с помощью амперметра и вольтметра

Перед измерением при отключенной схеме необходимо убедиться по вольтметру в отсутствии посторонних токов в земле. Если же есть значительные напряжения от посторонних токов в земле, то необходимо их устранить (например, отключить электросварку) либо, когда устранение невозможно, изменить место расположения зонда.

Влияние посторонних токов можно снизить увеличением тока в испытательной цепи. Измерения проводят только тогда, когда нет постороннего напряжения либо оно незначительно. При измерении малых сопротивлений достаточным является ток 20-25 А. Исходя из условий техники безопасности, желательно при измерении применять как можно меньшее напряжение.

3. Измерение сопротивления заземляющих устройств прибором МС-08

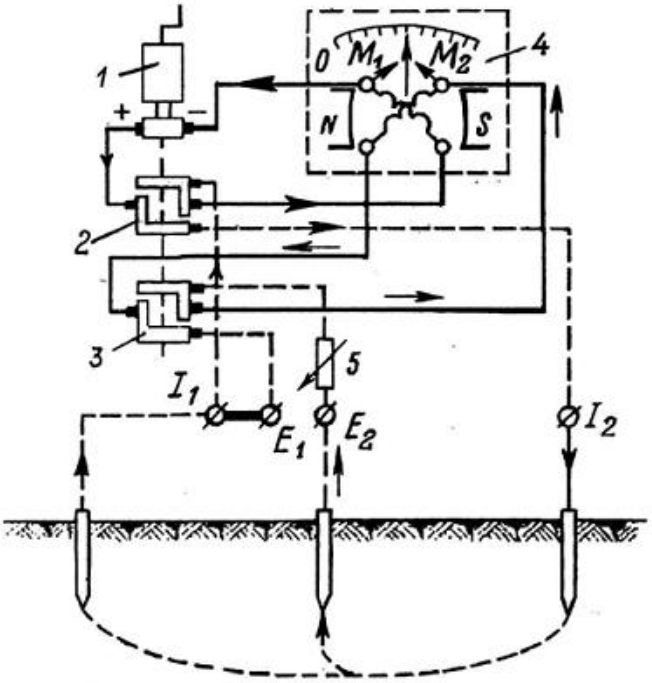


Рис. 1.2. Упрощенная схема измерителя заземления типа МС-08:
1 – генератор постоянного тока с ручным приводом; 2 – прерыватель тока; 3 – выпрямитель; 4 – логометр; 5 – регулируемое сопротивление

В измерителе заземления МС-08 использован метод амперметра-вольтметра с применением вспомогательного заземлителя и потенциального электрода (зонда), удаленных на достаточное расстояние от испытуемого заземлителя (рис. 1.3.).

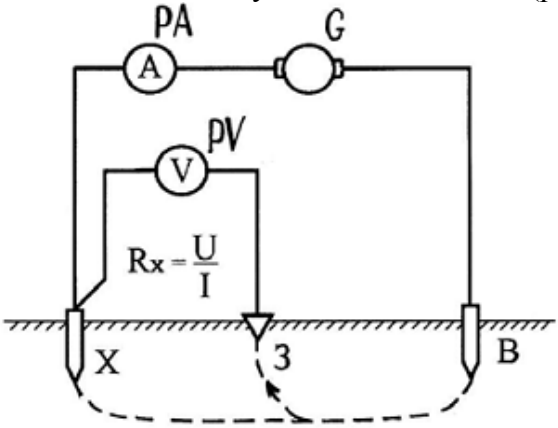


Рис. 1.3. Принципиальная схема измерения сопротивления растеканию тока заземления R_x по методу амперметра-вольтметра

Источником тока служит генератор постоянного тока с ручным приводом через редуктор, встроенный в прибор. Конструктивно амперметр и вольтметр выполнены в виде магнитоэлектрического логометра.

Постоянный ток генератора, проходя через токовую обмотку логометра, преобразуется прерывателем в переменный и подается во внешнюю цепь через вспомогательный (В) и испытываемый (Х) заземлители.

Па потенциальную обмотку логометра подается переменное напряжение, снимаемое с испытываемого заземлителя и зонда (З) и выпрямленное посредством выпрямителя. Показания логометра пропорциональны отношению токов в его обмотках и, следовательно, отношению напряжения, снимаемого с испытываемого заземлителя и зонда, к току, проходящему через испытываемый заземлитель. Таким образом, показания логометра пропорциональны сопротивлению испытываемого заземлителя, поэтому шкала логометра проградуирована в Омах.

Для измерения больших сопротивлений прибор включают по схеме, приведенной на рис. 1.4, малых сопротивлений но схеме на рис. 1.5.

Прибор имеет три предела измерения: 0…1000, 0…100, 0…10 Ом и соответственно рабочие шкалы 10... 1000, 1...100 и 0,1... 10 Ом.

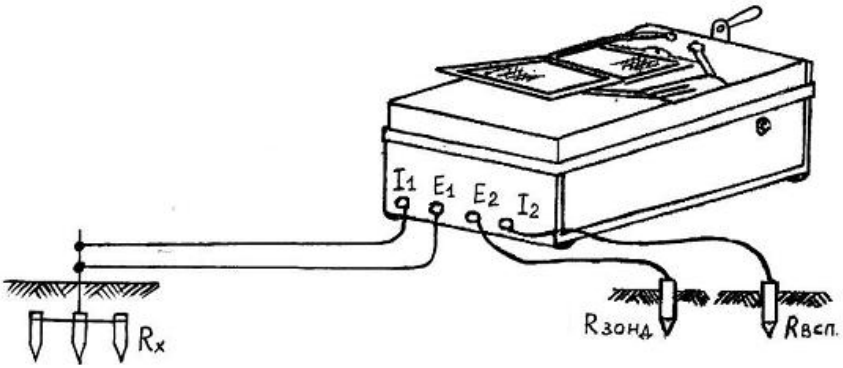


Рис. 1.4. Принципиальная схема включения измерителя заземления типа МС-0,8 (трехпроводная схема, большие сопротивления):
1 – переключатель; 2 – реостат потенциальной цепи;
3 – потенциальный зонд; 4 – вспомогательный заземлитель;
R_x – сопротивление испытываемого заземлителя

Перед измерением после подключения к прибору испытуемого, вспомогательного и потенциального заземлителей, потенциальная цепь уравнивается по своему сопротивлению до величины, при которой производилась градуировка прибора (1000 Ом). Для этой цели служат реостат 2 потенциальной цепи и переключатель 1 (рис. 1.4).

Для уравнения величины сопротивления потенциальной цепи необходимо переключатель 1 поставить в положение «регулировка» и вращая рукоятку генератора со скоростью 120-135 об/мин путем регулировки реостатом 2 добиться, чтобы стрелка прибора установилась на красной отметке шкалы (если не удастся, значит $R_{зонд}$ > 1000 Ом; $R_{зонд}$ тогда следует уменьшить).

После компенсации приступают к измерению. Для этого переключатель 1 переводят в положение «Х1», что

соответствует пределу 1000 Ом. Если при частоте вращения генератора 120 – 135 об/мин отклонение стрелки незначительно, нужно перейти на предел «Х0,1» (шкала 100 Ом), затем «Х0,01» (шкала 10 Ом). При вращении генератора производится отсчет по шкале, который затем умножают на коэффициент, указанный переключателем пределов.

Прибор имеет четыре зажима: два токовых, обозначенные буквами I_1 и I_2 и два потенциальных – E_1 и E_2.

Для грубых измерений и измерений больших величин зажимы I_1 и E_1 соединяют перемычкой и присоединяют к измеряемому объекту, зажим I_2 присоединяют к вспомогательному заземлителю, зажим E_2 присоединяют к потенциальному зонду (рис. 1.4).

Наличие четырех зажимов позволяет при точных измерениях исключить ошибку, вносимую сопротивлениями соединительных проводов и контактов. При этом зажимы I_1 и E_1 соединяют каждый в отдельности с измеряемыми объектом, I_2 присоединяют к вспомогательному заземлителю, E_2 – к потенциальному зонду (рис. 1.5).

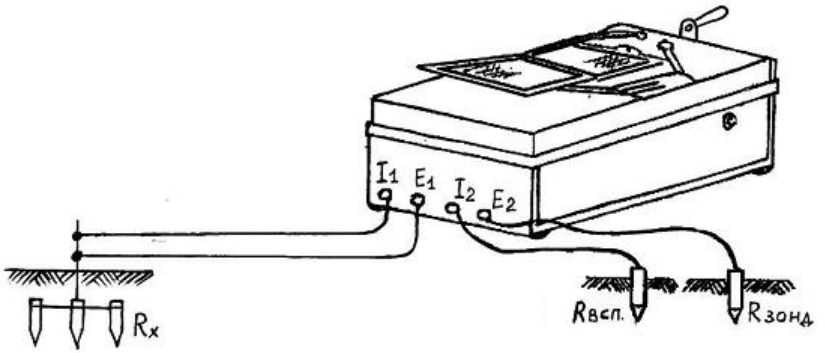


Рис. 1.5. Схема измерения сопротивления заземлителей измерителем заземления МС-0,8 (четырехпроводная схема - малые сопротивления)

3. Испытание заземляющей сети

Заземляющая сеть представляет собой совокупность разветвленной системы заземляющих проводников, связывающих заземляемое оборудование с заземлителями, и других элементов заземляющего устройства.

Состояние заземляющей сети, необходимо периодически контролировать путем испытаний. В объем испытаний заземляющей сети входит также проверка наличия цепи между заземлителем и заземляемыми элементами.

При обрыве цепи между заземлителем и заземляемым элементом, последний оказывается отключенным от заземляющего устройства и его дальнейшая эксплуатация в таком виде недопустима, опасным также является ненадежный контакт в цепи заземления.

Проверку производят внешним осмотром и измерением ее сопротивления, можно производить без отключения испытываемого оборудования, но предварительно убедиться при помощи вольтметра или указателя отсутствия напряжения на корпусе испытуемого электрооборудования.

Величина сопротивления заземляющей проводки ПУЭ не нормируется (обычно невелика и составляет десятые доли Ома на ветвь).

Измерение сопротивления заземляющей проводки может выполняться при помощи измерителя заземления типа МС-08:

1) При малых расстояниях между заземленными элементами и магистралью заземления измерение производят но схеме рис. 1.6 элементами и магистралью заземления.

При обрыве цепи между заземлителем и заземляющим элементом, последний оказывается отключенным от заземляющего устройства и его дальнейшая эксплуатация в таком виде недопустима.

Рис. 1.6. Измерение сопротивления заземляющей проводки измерителем МС-08 при малых расстояниях между заземленными элементами и магистралью

По этой схеме сопротивление соединительных проводников входит в измеряемую величину, и следовательно проводники должны быть короткими, сечением не менее 4 мм^2. Прибор устанавливают как можно ближе к магистрали заземления, к защищенному месту на магистрали заземления закрепляют струбцину, соединенную коротким проводником с зажимами I_1 и E_1 Зажимы I_2 и E_2 соединяют со щупом. До измерения необходимо скомпенсировать сопротивление соединительных проводников, т.е. на магистрали делается надпил вблизи струбцины (напильником или др.) и прижимается щуп. А на приборе проводится регулировка прибора компенсационным сопротивлением. После этого производят измерения, что и при измерении сопротивления заземлителя.

2) При большом расстоянии между испытуемым оборудованием и магистралью заземления измерение производят по схеме рис.1.7., при которой исключается влияние сопротивления соединительных проводников.

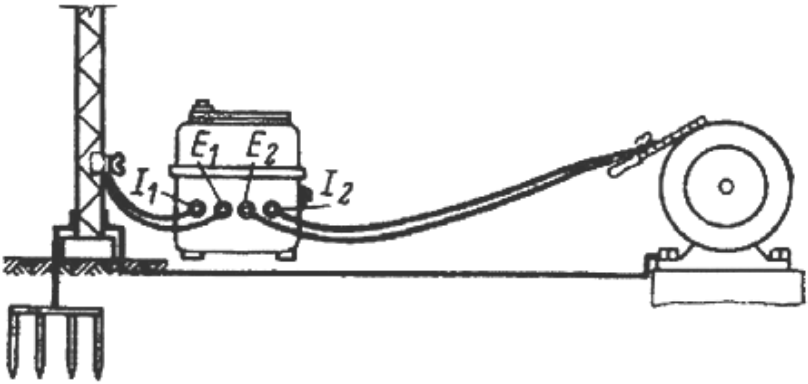


Рис. 1.7. Измерение сопротивления заземляющей проводки измерителем МС-08 при больших расстояниях между испытываемым оборудованием и магистралью

4. Измерение сопротивления заземляющих устройств прибором М-416

Измерение сопротивления заземления прибором М-416 основано на компенсационном методе с применением

вспомогательного заземлителя и потенциального электрода (зонда).

Структурная схема прибора и его присоединения при измерении приведена на рис. 1.8. Переменный ток от преобразователя через первичную обмотку трансформатора *T*, токовые зажимы 1 и 4 прибора поступает во внешнюю цепь. Вторичная обмотка трансформатора подключена к резистору R_1, с помощью которого производится компенсация. При такой схеме включения на измерительное устройство (усилитель, детектор и индикатор *P*) подается разность напряжений на резисторе R_1 и на измеряемом сопротивлении. В момент компенсации (равенства сравниваемых напряжений) ток в цепи индикатора будет равен нулю. Резистор R_1 снабжен шкалой, позволяющей непосредственно определить значение измеряемого сопротивления.

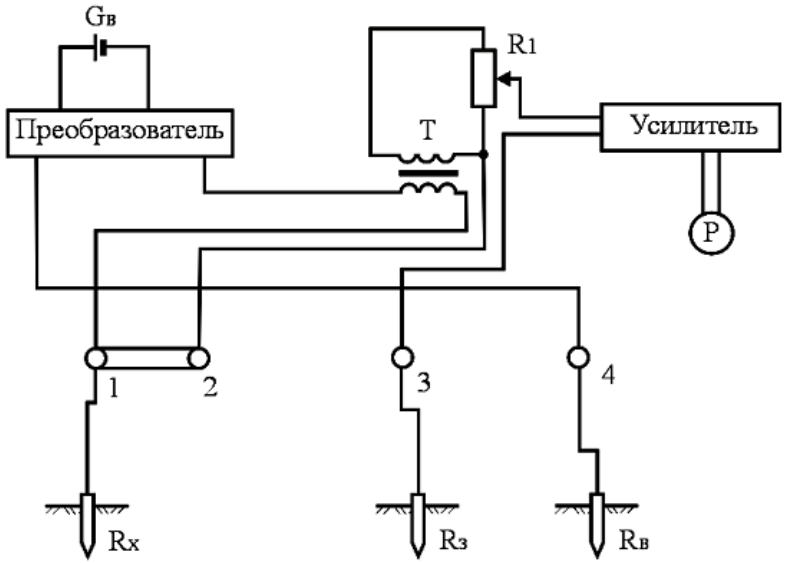


Рис. 1.8. Структурная схема измерителя заземления М-416

Пределы измерения прибора М-416 от 0,1 до 1000 Ом.

Для подключения измеряемого сопротивления, вспомогательного заземлителя и зонда на приборе имеется четыре зажима, обозначенных цифрами 1, 2, 3, 4.

Для грубых измерений сопротивления заземления и измерений больших сопротивлений (более 5 Ом) зажимы 1 и 2 соединяют перемычкой и прибор подключают к измеряемому объекту по трехзажимной схеме (рис. 1.9).

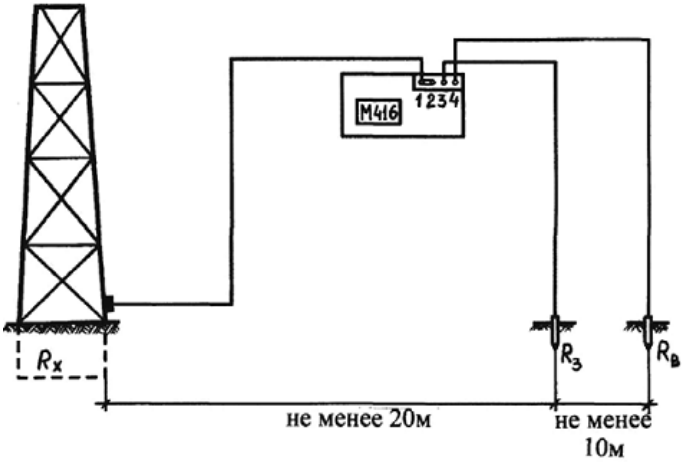


Рис. 1.9. Подключение прибора по трехзажимной схеме

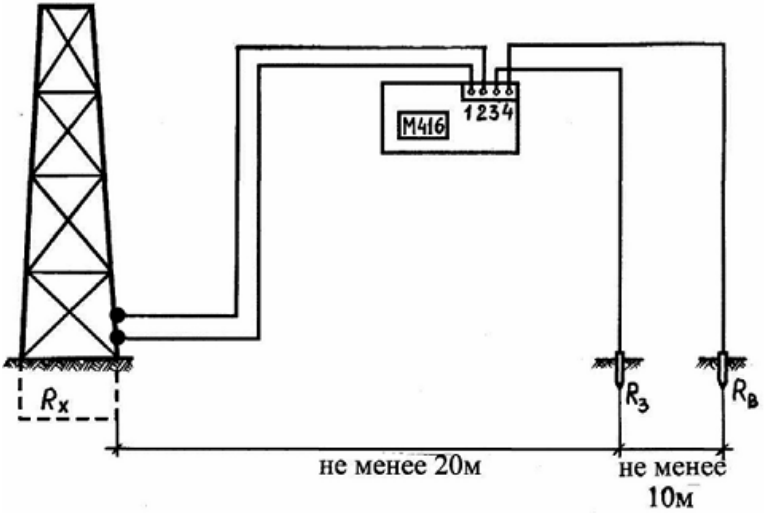


Рис. 1.10. Подключение прибора по четырехзажимной схеме

При точных измерениях снимают перемычку с зажимов 1 и 2 и прибор подключают к измеряемому объекту по четырехзажимной схеме (рис. 1.10). Это позволяет исключить

погрешность, вносимую сопротивлением соединительных проводов и контактов рис.1.10.

5. Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться с оборудованием рабочего места.

2) Подготовить прибор М-416 к работе:

- установить прибор на ровной поверхности и открыть крышку;

- установить переключатель в положение «КОНТРОЛЬ 5 Ом», нажать кнопку и вращением ручки «РЕОХОРД» добиться установления стрелки индикатора на нулевую отметку: на шкале реохорда при этом должно быть показание 5…0,3 Ом.

3) Подключить прибор М-416 к заземляющему устройству, потенциальному зонду и вспомогательному заземлителю макета металлической опоры.

4) Произвести измерение сопротивления заземляющего устройства:

– переключатель диапазонов установить в положение «Х1»;

– нажать кнопку и, вращая ручку «РЕОХОРД», добиться максимального приближения стрелки индикатора к нулю; если измеряемое сопротивление окажется больше 10 Ом, необходимо переключатель установить на следующий диапазон измерений;

– записать результат измерения, который равен произведению показания шкалы реохорда на множитель диапазона.

5) Если полученный результат менее 5 Ом, то необходимо повторить измерение, но уже по четырехзажимной схеме.

6) Аналогичным образом выполнить при помощи прибора М-416 измерение сопротивления внешнего контура заземляющего устройства аудитории и записать полученный результат.

7) Подключить прибор МС-08 по трехзажимной схеме к макету заземляющего устройства опоры ВЛЭП.

8) Произвести компенсацию сопротивления зонда, для чего переключатель, расположенный на крышке прибора, установить

в положение «регулировка» и, вращая рукоятку генератора со скоростью около 135 об/мин путем поворота головки реостата установить стрелку прибора на «красную» отметку шкалы.

9) Установить переключатель в положение «измерение Xl», т.е. на предел 1000 Ом, и произвести замер, вращая ручку генератора со скоростью около 135 об мин. При незначительном отклонении стрелки прибора последовательно перейти на шкалу 100 Ом («X0,1») или на шкалу 10 Ом («X0,01»). Произвести отсчет по шкале с учетом выбранного коэффициента измерения и записать полученный результат.

10) Подключить прибор МС-08 по трехзажимной схеме к заземляющему устройству аудитории, потенциальному зонду и вспомогательному заземлителю.

11) Произвести компенсацию сопротивления зонда согласно п.8.

Если при повороте головки реостата установить стрелку на «красную» отметку шкалы не удается, необходимо принять меры к уменьшению сопротивления зонда путем увлажнения почвы вокруг зонда и вспомогательного заземлителя.

12) Измерить сопротивление заземляющего устройства аудитории согласно п.9 и записать полученный результат.

13) Проверить наличие заземляющей сети между заземлителями и заземленным электрооборудованием лаборатории (по указанию преподавателя) прибором МС-08.

6. Содержание отчета

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

1) Цель работы, сведения из теории.

2) Схемы произведенных измерений (рис. 1.3, 1.4, 1.6, 1.7).

3) Протоколы измерений сопротивления заземляющих устройств.

4) Выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1) Для чего применяют защитное заземление и из чего его выполняют?

2) В чем состоит сущность измерения сопротивления заземлителей с помощью ампер-вольтметра?

3) Рассказать порядок выполнения измерений с помощью прибора МС-0,8.

4) Рассказать порядок выполнения измерений с помощью прибора М-416.

Лабораторная работа №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ МЕТОДОМ ПЕТЛИ

Цели работы: Закрепить теоретические знания об определении мест повреждения на кабельной линии методом петли. Получить практические навыки по определению мест повреждения на кабельной линии методом петли с помощью моста постоянного тока Р-333.

1. Теоретические сведения

Метод петли для определения мест повреждения на кабельных линиях основан на сравнении сопротивления целой и поврежденной (но не оборванной) жилы кабеля. Величины сопротивлений при одинаковом сечении жил пропорциональны длинам целой жилы и участка жилы до места повреждения.

Метод петли применяется на кабельных линиях любых напряжений, выполненных кабелями любых марок при замыкании одной или нескольких жил между собой и на землю в одном месте при одной неповрежденной жиле. При этом переходное сопротивление в месте повреждения должно быть не более 40 Ом и поврежденная жила кабеля не иметь обрыва.

Определение места повреждения на кабельных линиях методом петли производят с помощью универсального моста сопротивлений тина МВУ-49 , специального кабельного моста типа Р-334 или моста постоянного тока типа Р-333.

Например, мост постоянного тока Р-333 позволяет определить место повреждения кабеля посредством петли Варлея (в линиях с малым собственным сопротивлением) или петли Муррея (в линиях с большим собственным сопротивлением), а также производить измерения электрического сопротивления по схеме одинарного моста и асимметрии проводов.

На крышке моста с внутренней стороны прикреплена табличка со схемой и краткой инструкцией по эксплуатации прибора. На лицевой панели моста расположены:

1) Кнопки включения мостовой схемы – МВ; петли Муррея – ПМ и петли Варлея – ПВ; кнопка МВ служит также для возвращения кнопок ПМ и ПВ в исходное состояние.

2) Четыре ручки переключателей сравнительного плеча и одна – плеча отношений.

3) Кнопка ЭНИ включения электронного нуль – индикатора (баланса).

4) Кнопка ПИТ для включения напряжения питания моста. Лимбы рычажных переключателей сравнительного плеча имеют цифры, а под лимбом находится стрелка с множителем данной декады. Произведение цифры на множитель дает величину включенного на данной декаде сопротивления;

5) Зажим *Г* для присоединения внешнего нулевого индикатора.

6) Зажимы ±*Б* для присоединения внешнего источника питания.

7) Зажимы *М* и *К* для проверки сопротивлений схемы моста.

8) Зажимы R_x для измерений по схемам петли Варлея, Муррея и асимметрии проводов.

На лимбе переключателя плеч отношений находится точка, а на панели нанесены цифры обозначающие множитель, соответствующий величине отношения плеч:

$$n = \frac{R_1}{R_2} \cdot (10^{-4} ... 10^{2}) \quad (2.1)$$

$$m = \frac{R_1}{R_2} \cdot (10 \ ... 10^{3}) \quad (2.2)$$

При измерении низкоомных сопротивлений по четырехзажимной схеме включения применено раздельное подключение элементов моста к измеряемому сопротивлению (рис. 2.1).

При таком включении сопротивления двух соединительных проводников входят в сопротивление плеч моста, а сопротивление двух других соединительных проводников входят в цепь гальванометра и источника питания, чем практически исключается влияние этих проводников на погрешность измерения.

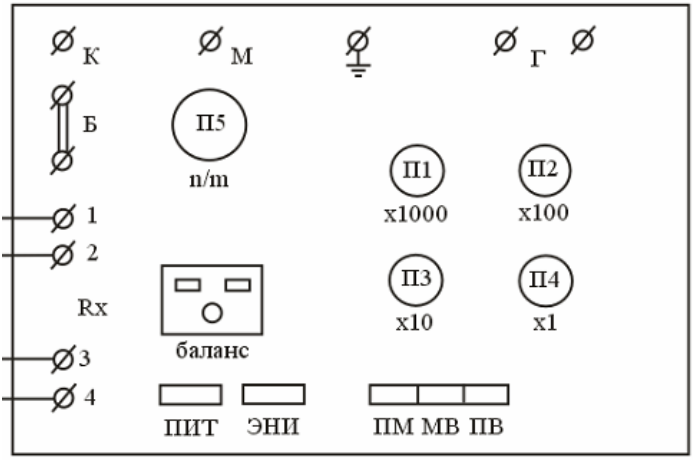


Рис. 2.1. Измерение сопротивлений от 0,005 до 9,999 Ом

При измерении высокоомных сопротивлений по двухзажимной схеме включения работа моста осуществляется по схеме, приведенной на рис. 2.2.

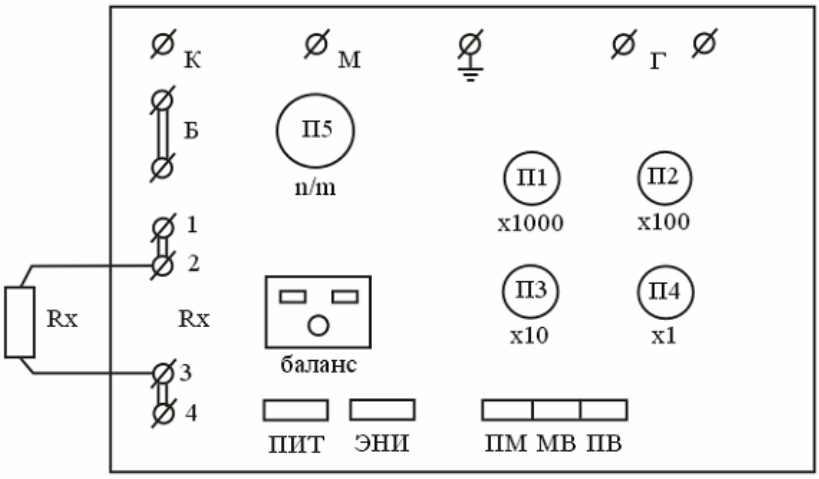


Рис. 2.2. Измерение сопротивлений от 10 до 999900 Ом

2. Определение места повреждения кабеля по схеме петли Варлея

Метод петли Варлея для определения места повреждения кабеля представляет мостовую схему (рис. 2.3).

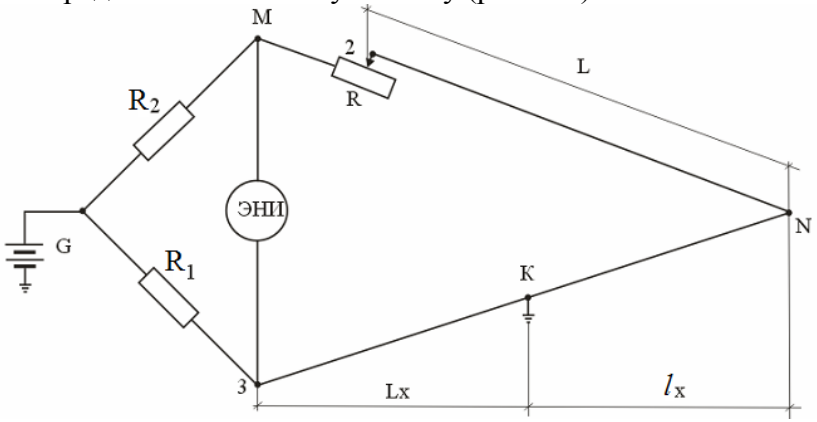


Рис. 2.3. Схема определения места повреждения кабеля методом петли Варлея

Схема моста состоит из двух сопротивлений плеч отношений R_1 и R_2 входящих в плечи моста, два других плеча составляют измерительную петлю, состоящую из поврежденной

(L_X + l_X) и исправной (L) жил кабеля и сопротивления плеча сравнения R, входящих также в плечо моста. Сопротивление до места повреждения (К) определяется по формуле:

$$R_X = \frac{n(R+r)}{1+n}, \text{ Ом} \qquad (2.3)$$

где $n = \frac{R_1}{R_2}$ - множитель на декаде П5;

r – сопротивление двух жил кабеля (L+L_x+l_x), Ом;
R – сопротивление плеча сравнения $П_1$ ... $П_4$. Ом.

Расстояние до места повреждения кабеля определяется но формуле

$$L_X = \frac{R_X \cdot S}{\rho}, \text{ м} \qquad (2.4)$$

где S – сечение жилы, мм^2;

ρ – удельное сопротивление материалы жилы кабеля, $\frac{Ом \cdot мм^2}{м}$

(алюминий ρ = 0,027; медь ρ = 0,017).

3. Определение места повреждения кабеля по схеме петли Муррея

Схема петли Муррея представляет собой мостовую схему (рис. 2.4), где два плеча составляются из исправной (L) и поврежденной (L_x+l_x) жил кабеля, соединенных вместе на удаленном конце в точке «N».

Место повреждения «К» разделяет петлю на две части, эти две части в схеме моста образуют два плеча, а два других плеча образуются из сопротивлений, имеющихся в самом приборе ($R_{1(m)}$ и R).

Сопротивление отрезка жилы кабеля до места повреждения находится по формуле:

$$R_X = \frac{m \cdot r}{R+m}, \text{ Ом} \qquad (2.5)$$

где r – сопротивление двух жил кабеля (L+L_x+l_x), Ом;
R – сопротивление плеча сравнения $П_1$ ... $П_4$, Ом;

m – множитель на переключателе плеч отношений (декаде $П_5$), он может иметь значения m1000; m100; m10.

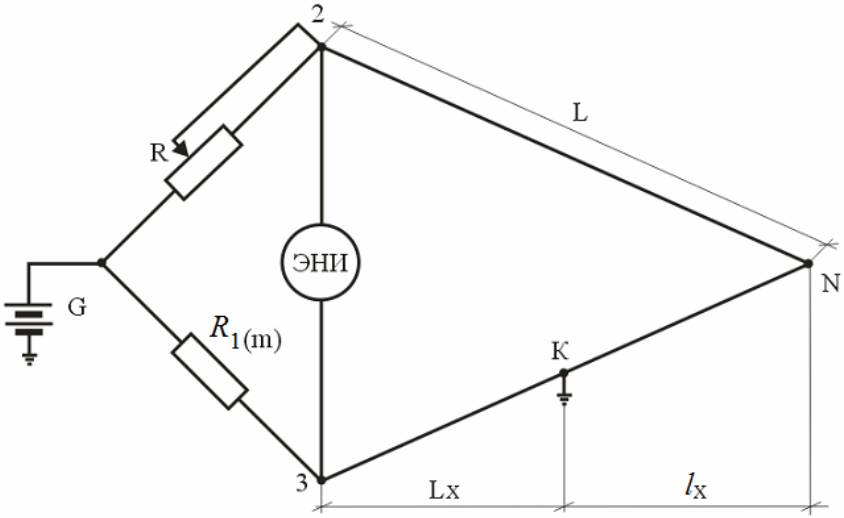


Рис. 2.4. Схема определения места повреждения кабеля методом петли Муррея

В формулу (2.3) подставляется численное значение множителя *m1000, m100* и *m10*. Расстояние от места измерения до места повреждения кабеля определяется по формуле:

$$L_X = \frac{R_X \cdot S}{\rho}, \text{ м} \qquad (2.6)$$

Измерение необходимо производить дважды, меняя местами концы жил кабеля, подключенные к зажимам моста «2» и «3». В результате двух замеров определяется расстояние от места измерения до места повреждения по формулам (2.8) и (2.10):

$$R_{X1} = \frac{m_1 \cdot r}{R_1 + m_1}, \text{ Ом} \qquad (2.7)$$

$$L_{X1} = \frac{R_{X1} \cdot S}{\rho}, \text{ м} \qquad (2.8)$$

$$R_{X2} = \frac{m_2 \cdot r}{R_2 + m_2}, \text{ Ом} \qquad (2.9)$$

$$L_{X2} = (L_X + l_X) = \frac{R_{X2} \cdot S}{\rho}, \text{ м} \qquad (2.10)$$

где m_1, m_2 – множитель на декаде плеч отношений $П_2$;
R_1, R_2 – множитель на декаде $П_1$ ... $П_4$.

Если сумма $L_x+l_x+ L$ значительно отличается от двойной длины кабеля ($2L$), то измерения сделаны неправильно и их следует повторить.

Для уточнения места повреждения кабеля следует (по возможности) произвести измерения с противоположного конца кабеля.

4. Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться с оборудованием рабочего места.

2) Измерить мостом Р-333 сопротивление двух жил кабеля и определить длину кабеля:

а) подключить к зажимам R_x две исправные жилы кабеля, соединив их на противоположном конце; нажать кнопку «МВ»;

б) декадным переключателем $П_5$ установить множитель «n» по таблице 2.1;

Таблица 2.1.

Выбор множителя «n» в зависимости от величины, измеряемого сопротивления

Измеряемое сопротивление, Ом	Рекомендуемые множители «n»	Напряжение источника питания моста, В		Схема включения
		внутренняя батарея	наружная батарея	
$5\cdot10^{-3}$…0,0999	0,0001	–	1,5	4-х зажим.
$1\cdot10^{-1}$…0,999	0,0001	–	1,5	4-х зажим.
1…9,999	0,001	1,5	1…1,5	4-х зажим.
10…99,99	0,01	1,5	1,5…3	2-х зажим.
100…999,9	0,1	1,5	3…10	2-х зажим.
1000…9999	1	1,5	3…10	2-х зажим.
10000…50000	10	1,5	10…16	2-х зажим.
10^5…$999,9\cdot10^3$	100	–	10…16	2-х зажим.

в) переключателями «$П_1$...$П_4$» установить ожидаемое значение;

г) нажать кнопку «ЭНИ» и вращением ручки «Баланс» добиться одновременного свечения светодиодов; нажать кнопку «ПИТ»;

д) уравновесить мост вращением переключателей «$П_1$...П4», добиваясь одновременного свечения светодиодов;

вычислить сопротивление но формуле:

$$R_x = n \cdot R, \text{ Ом} \qquad (2.11)$$

где n – множитель декады «$П_5$»,
R – сопротивление плеча сравнения «$П_1$ ... $П_4$», Ом;

е) определить длину двух жил кабеля:

$$2L = (L + L_X + l_X) = \frac{R_X \cdot S}{\rho} \qquad (2.12)$$

где R_x – сопротивление двух жил кабеля, Ом,
S – сечение жилы кабеля, мм^2,

ρ – удельное сопротивление материала жилы кабеля, $\frac{Ом \cdot мм^2}{м}$.

3) Создать искусственное повреждение на макете кабельной линии.

4) Измерить сопротивление жилы кабеля до места повреждения по схеме петли Варлея и определить расстояние до места повреждения кабеля:

а) нажать кнопку «ПВ»;

б) подключить к зажимам «R_X» исправную и поврежденную жилы кабеля, соединенные перемычкой на противоположном конце;

в) подключить заземление к заземляющему зажиму прибора;

г) установить на декаде «$П_5$» первоначально n = 1;

д) нажать кнопку «ЭНИ» и вращением ручки «Баланс» добиться одновременного свечения светодиодов;

е) нажать кнопку «ПИТ»;

ж) уравновесить мост вращением переключателей «$П_1$...$П_4$», добиваясь одновременного свечения светодиодов;

з) определить сопротивление до места повреждения кабеля по формуле (2.3);

и) определить расстояние до места повреждения кабеля по формуле (2.4).

5) Измерить сопротивление жилы кабеля до места повреждения по схеме петли Муррея:

а) нажать кнопку «ПМ»;

б) подключить к зажимам R_X исправную и поврежденную жилы кабеля, соединенные перемычкой на противоположном конце (если сопротивление двух жил кабеля
r < 400 Ом, то измерения производятся по четырехзажимной схеме);

в) подключить заземление к заземляющему зажиму прибора;

г) установить на декаде «$П_5$» установить на *m1000, m100* или *m10*;

д) нажать кнопку «ЭНИ» и вращением ручки «Баланс» добиться одновременного свечения светодиодов;

е) нажать кнопку «ПИТ»;

ж) уравновесить мост вращением переключателей «П1...П4», добиваясь одновременного свечения светодиодов;

з) определить сопротивление до места повреждения кабеля по формуле (2.5);

и) определить расстояние до места повреждения кабеля по формуле (2.6).

Примечание: измерения необходимо произвести дважды, меняя местами концы жил кабеля, подключенные к зажимам моста «2» и «3», при этом дважды определяется расстояние до места повреждения кабеля: L_X и $L + l_X$.

6) Полученные при измерениях и вычислениях результаты занести в таблицы 2.2, 2.3, 2.4.

Таблица 2.2.

Определение длины кабельной линии

n	R, Ом	r, Ом	$L + L_X + l_X = 2L$, м

Таблица 2.3.

Определение места повреждения по схеме петли Варлея

n	R_X, Ом	R_X, Ом	L_X, м

Таблица 2.4.

Определение места повреждения по схеме петли Муррея

m_1	R_1, Ом	R_{X1}, Ом	L_X, м	m_2	R_2, Ом
R_{X2}, Ом	$L+l_x$, м	L_X, м	$L + L_X + l_X$, м		$2L$, м

5. Содержание отчета

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

1) Схемы произведенных измерений (рис. 2.3, 2.4).
2) Заполненные таблицы 2.2, 2.3, 2.4.
3) Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1) На чем основан метод петли для определения повреждения на кабельной линии?
2) Рассказать сущность метода петли Варлея.
3) В чем состоит сущность метода петли Муррея.

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ МЕТОДОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА

Цели работы: Закрепить теоретические знания об определении мест повреждения на кабельной линии методом колебательного разряда. Получить практические навыки по определению мест повреждения на кабельной линии методом колебательного разряда с помощью измерителя расстояния до места повреждения кабеля Щ-4120.

1. Теоретические сведения

Метод колебательного разряда применяется на кабельных линиях, выполненных кабелями с бумажной изоляцией в металлической оболочке, напряжением до 35 кВ. При помощи этого метода можно определить пробой изоляции между жилами или жилами и заземленной оболочкой, в случае если переходное сопротивление в месте повреждения имеет переменное значение. Такой характер повреждения изоляции называется заплывающим пробоем.

Заплывающий пробой в кабеле проявляется в виде короткого замыкания (пробоя) при высоком напряжении и исчезает (заплывает) при низком. Заплывающие пробои в подавляющем большинстве случаев происходят в соединительных муфтах и выявляются при профилактических испытаниях кабелей выпрямленным напряжением.

Для определения места повреждения на кабельных линиях методом колебательного разряда применяются электронный микросекундомер ЭМКС-58 М или измеритель расстояния до места повреждения кабеля Щ-4120.

Измеритель расстояния до места повреждения кабеля Щ-4120 предназначен для определения расстояния до места заплывающего пробоя изоляции в силовых электрических

высоковольтных кабелях с бумажно-масляной изоляцией типа СБ, ЛСБ, ОСБ с номинальным напряжением 6…35 кВ, при испытательном напряжении от 15 до 50 кВ и скоростью распространения электромагнитной волны равной 160 м/мкс.

2. Устройство прибора Щ-4120

Конструктивно прибор Щ-4120 выполнен в виде переносного устройства. Органы управления и присоединения расположены на передней и задней панели и имеют соответствующие надписи.

На лицевой панели прибора расположены:

– разъем «ВХОД» – для присоединения присоединительного устройства;

– переключатель «РАБОТА» – «КОНТРОЛЬ» - для коммутации цепей схемы прибора при измерении расстояния до места повреждения кабеля и при измерении длительности импульса задержки;

– ручка «УСИЛЕНИЕ» – для отстройки от импульсов помехи;

– кнопка «ПУСК ЗАДЕРЖКИ» – для пуска одновибратора при измерении длительности импульсов задержки;

– переключатель «ЗАДЕРЖКА М» – для выбора диапазона измерения длительности импульсов задержки;

– ручка «ЗАДЕРЖКА ПЛАВНО» – для плавного изменения длительности импульсов задержки;

– цифровое табло – для визуального считывания результатов измерения;

– лампа «ГОТОВ» – для индикации готовности прибора к измерению;

– лампа «ПЕРЕПОЛНЕНИЕ СЧЕТЧИКА» – для индикации переполнения счетчика, (загорается при ложных измерениях);

– кнопка «СБРОС» – для приведения прибора в состояние готовности к измерению и сброса показаний;

– зажим «⊥» – для подключения прибора к контуру защитного заземления.

На задней панели прибора расположены:

– штепсельная колодка «~220V 50 Hz» – для подключения прибора к питающей схеме;

– держатель предохранителя «0,5А».

В комплекте с прибором поставляется присоединительное устройство, предназначенное для присоединения прибора к кабелю, находящемуся во время измерений под высоким испытательным напряжением, и изоляции прибора от высокого напряжения.

Присоединительное устройство конструктивно выполнено в виде законченного блока (рис. 3.1) и его электрическая схема показана на рис. 3.2.

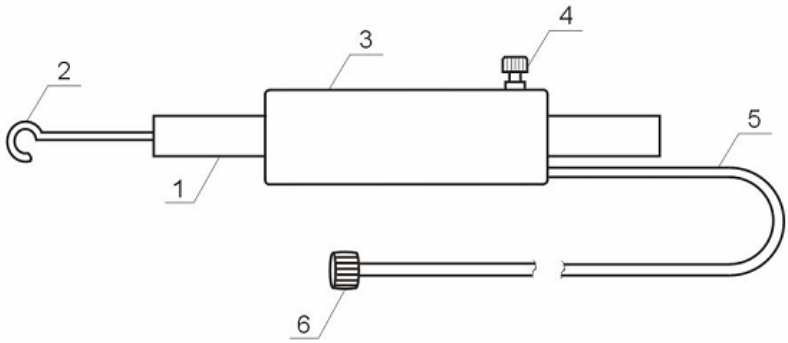


Рис. 3.1. Общий вид присоединительного устройства:
1 – изоляционная труба; 2 – вывод внутреннего электрода; 3 – экран;
4 – клемма; 5 – кабель

Присоединительное устройство состоит из следующих элементов (рис. 3.1.): изоляционной трубы 1, которая является высоковольтным изолятором между внутренним и внешним электродами конденсатора присоединительного устройства; вывода внутреннего электрода 2 для присоединения присоединительного устройства к испытываемой жиле кабеля; экрана 3 для предохранения внешних обкладок конденсатора присоедини тельного устройства; клеммы 4 для соединения присоединительного устройства с контуром защитного заземления; кабеля 5 для присоединения присоединительного устройства к прибору.

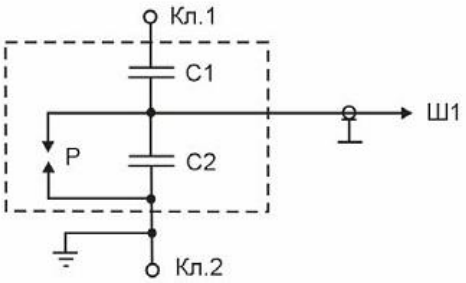


Рис. 3.2. Схема принципиальная электрическая присоединительного устройства

Прибор позволяет измерить расстояние до места повреждения кабеля в пределах от 40 до 40000 м.

Максимальное значение напряжения, подаваемого на присоединительное устройство, не должно превышать 50 кВ постоянного тока.

Для исключения ложных замеров прибор имеет устройство задержки импульса помехи. Диапазоны регулировки задержки приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1.

Диапазоны регулировки задержки прибора Щ-4120

Диапазоны регулирования задержки, м	Показание прибора в положении ручки «ЗАДЕРЖКА ПЛАВНО», м	
	минимальное, не более	максимальное, не менее
0	0	0
60…250	60	270
250…1500	230	1580
1500…7500	1420	7880
7500…40000	7120	42000

Отсчетное устройство прибора обеспечивает:

а) пятизначную цифровую индикацию;

б) независимость показаний от последующих импульсов, поступающих на вход прибора;

в) индикацию переполнения счетчика.

Сброс производится вручную, нажатием кнопки «СБРОС». Основная погрешность прибора не превышает ± 30 м.

Суммарная погрешность измерения расстояния до места повреждения кабеля не более значения, определяемого по формуле:

$$\Delta = \pm(30 + 0{,}025L_X), \text{ м} \qquad (3.1)$$

где *30* – основная погрешность прибора в метрах;
L_x – измеряемое расстояние до места повреждения в метрах.

3. Методика выполнения измерений

Определение расстояния до места пробоя в кабеле производится методом колебательного разряда, в основу которого положено измерение времени полупериода колебательного электромагнитного процесса, возникшего при пробое изоляции заряженного кабеля.

Для подавляющего большинства высоковольтных кабелей с бумажно-масляной изоляцией с рабочим напряжением 3-10 кВ и 35 кВ скорость распространения электромагнитной волны равна 160 м/мкс и практически не зависит от типа и сечения кабеля.

Расстояние до места повреждения определяется но формуле:

$$L_X = \frac{v \cdot T}{2}, \text{ м} \qquad (3.2)$$

где T – время половины периода колебаний, измеренное прибором, мкс;
v – скорость распространения электромагнитной волны в кабеле, м/мкс.

Для скорости распространения электромагнитной волны, равной 160 м/мкс расстояние до места повреждения будет определяться по формуле:

$$L_X = 80 \cdot T \qquad (3.3)$$

Таким образом, шкала прибора, измеряющего интервал времени, может быть градуирована непосредственно в метрах. Такая градуировка выполнена в приборе Щ-4120.

При измерении расстояния до места пробоя в кабельной линии напряжение заряда плавно поднимают до пробоя в кабеле.

Для исключения влияния внутреннего сопротивления высоковольтной установки на колебательный процесс, включается резистор *R*, сопротивление которого выбирается значительно выше волнового сопротивления кабельной линии (0,5…10 кОм).

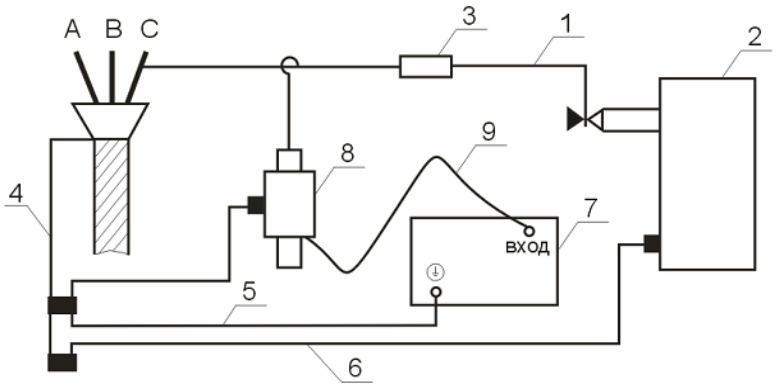


Рис. 3.3. Схема включения прибора при измерении расстояния до места пробоя в трехфазном кабеле: 1 – провод высокого напряжения; 2 – высоковольтная выпрямительная установка; 3 – зарядное сопротивление; 4 – шина контура заземления; 5 – цепь заземления прибора Щ-4120; 6 – цепь заземления высоковольтной выпрямительной установки; 7 – прибор Щ-4120; 8 – присоединительное устройство; 9 – соединительный кабель

При наличии дефекта в изоляции кабельной линии происходит пробой в месте повреждения. Короткое замыкание в заряженном кабеле порождает электромагнитные волны, которые распространяются от места пробоя в кабеле к началу кабельной линии и к ее концу. График движения электромагнитных волн показан на рис. 3.4.

Распространяющаяся электромагнитная волна подвержена затуханию. Наибольшему затуханию подвержены

высокочастотные составляющие волны. Поэтому, с течением времени пробега волны происходит все большее «округление» фронта волны и уменьшение амплитуды.

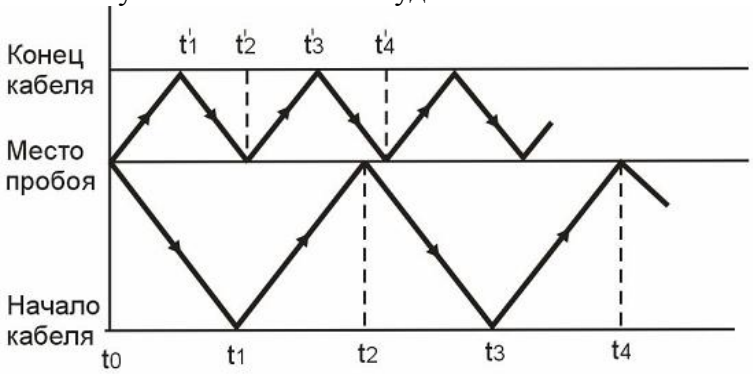


Рис. 3.4. График движения электромагнитных волн:
t_0 – время момента пробоя изоляции кабеля, мкс; t_1 – время прихода электромагнитной волны к началу кабеля, мкс; t_2 – время прихода отраженной волны к месту пробоя кабеля, мкс, и т.д.

Эпюры напряжения колебательного процесса при пробое заряженной кабельной линии, снятые на зажимах кабеля, показаны на рис. 3.5,а.

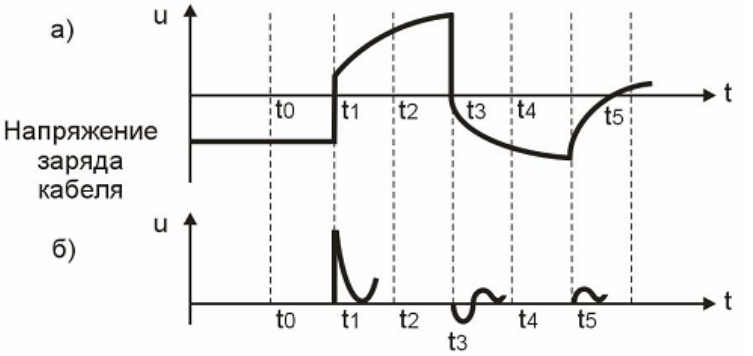


Рис. 3.5. Эпюры напряжения колебательного процесса при пробое изоляции заряженного кабеля: а) напряжение на зажимах кабеля; б) напряжение на входе прибора

Присоединительное устройство и входные цепи прибора дифференцируют напряжение колебательного процесса, на вход прибора поступают управляющие импульсы, согласно рис. 3.5б.

Импульс положительной полярности (момент времени t_1) запускает измерительный прибор, а отрицательной полярности (момент времени t_3) останавливает.

Измеренное время определяется по формуле:

$$T = t_1 + t_2 \tag{3.4}$$

За это время волна напряжения проходит расстояние от начала кабельной линии до места пробоя и назад - от места пробоя к началу, т.е. две измеряемые длины. Расстояние до места пробоя определяется по формуле (3.2).

В кабельных линиях имеются значительные неоднородности волнового сопротивления по длине линии, вызванные соединением кабелей различных типов и сечений, а также некоторыми видами соединительных муфт.

Такие неоднородности накладывают на колебательный процесс в кабеле дополнительные отражения электромагнитных волн (рис. 3.6).

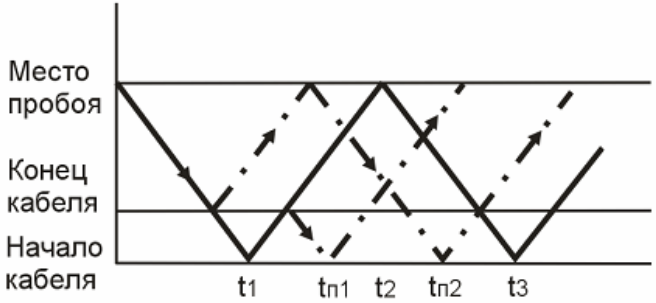


Рис. 3.6. График движения электромагнитных волн на линии с неоднородностью волнового сопротивления

Отражение от места неоднородности создает импульсы помехи в момент времени t_{n1} и t_{n2} , которые могут остановить процесс измерения до момента t_3 и тем самым вызвать ложное измерение. Эпюры напряжений для этого случая измерения показаны на рис. 3.7.

Ложные измерения, происходящие от помех, могут быть исключены путем уменьшения чувствительности прибора и введения импульсов задержки.

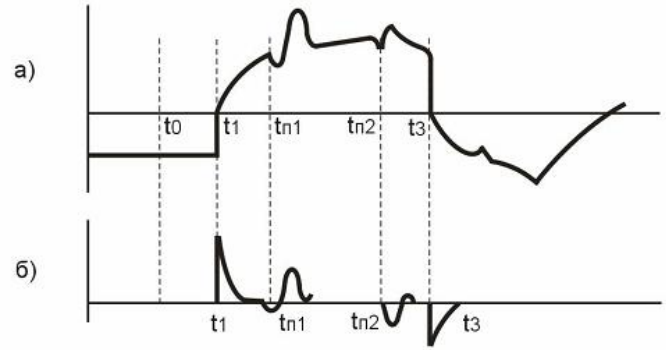


Рис. 3.7. Эпюры напряжения колебательного процесса при пробое: а) напряжение на зажимах кабеля; б) напряжение на входе прибора

3. Правила работы с прибором

Подготовка прибора к работе

1) Собрать схему в соответствии с рис. 3.3 перед проведением измерения расстояния до места повреждения кабеля.

2) При сборке схемы необходимо соблюдать следующие условия:

а) высоковольтная выпрямительная установка должна иметь заземленный плюс, т.е. создать заряд на кабеле отрицательного потенциала по отношению к земле. Несоблюдение полярности высоковольтной установки не обеспечит правильности измерений;

б) цепи заземления должны быть по возможности короткими по отношению к заземленной муфте концевой разделки испытуемого кабеля. Провода заземления не должны иметь витков, создающих индуктивное сопротивление;

в) присоединительное устройство необходимо устанавливать по возможности ближе к зажимам кабеля так, чтобы соединительный провод между кабелем и присоединительным устройством был не более 3 м;

г) зарядное сопротивление должно быть расположено непосредственно у места подключения присоединительного устройства;

д) жилы кабеля, не подвергающиеся испытанию высоким напряжением, должны быть изолированы от земли;

е) соединительный кабель присоединительного устройства подключается к входному коаксиальному гнезду прибора Щ-4120 согласно схеме рис. 3.3.

3) Проверить перед измерением расстояния до места пробоя кабеля: выполнение требований мер безопасности; правильность присоединения прибора.

4) Подключить прибор при помощи шнура питания к сети, включить прибор кнопкой «СЕТЬ» и прогреть его в течение 30 мин.

5) Проверить работоспособность прибора путем измерения установленной величины задержки.

Для этого произвести следующие операции:

а) установить переключатель «РАБОТА» - «КОНТРОЛЬ» в положение «КОНТРОЛЬ»;

б) установить ручку «ЗАДЕРЖКА ПЛАВНО» в крайнее правое положение;

в) установить переключатель «ЗАДЕРЖКА М» в положение «60…250»;

г) нажать кнопку «СБРОС», при этом должна светиться лампа «ГОТОВ» и высвечиваться нули на цифровом табло индикатора;

д) нажать кнопку «ПУСК ЗАДЕРЖКИ», при этом на цифровом табло появится результат измерения задержки не менее 250 м; лампа «ГОТОВ» должна погаснуть.

6) Подготовить прибор к проведению измерений. Для этого произвести следующие операции:

а) установить переключатель «РАБОТА» - «КОНТРОЛЬ» в положение "РАБОТА"

б) установить переключатель «ЗАДЕРЖКА М» в положение «0»;

в) установить ручку «УСИЛЕНИЕ» в крайнее левое положение (выключено) нажать кнопку «СБРОС», при этом должна загореться лампа «ГОТОВ», на цифровом табло должны высвечиваться нули.

Прибор готов к работе.

Меры безопасности при работе с прибором

При работе с прибором необходимо:

а) надежно заземлить рабочее место, где будет установлен прибор;

б) присоединение прибора необходимо производить только к отключенному от цепей высокого напряжения кабелю;

в) надежно заземлить корпус прибора Щ-4120, экран присоединительного устройства, корпус высоковольтной установки голым гибким медным проводом сечением не менее 4 мм^2;

г) не отключать высокочастотные разъемы, подходящие к прибору от присоединительного устройства при подаче высокого напряжения на измеряемый кабель:

д) выполнить защитные мероприятия, предупреждающие прикосновения и приближения на опасное расстояние к цепям высокого напряжения.

Режим измерений

а) произвести плавно подъем напряжения на кабельной линии от высоковольтной установки до напряжения пробоя, но не выше значения, регламентируемого местными эксплуатационными инструкциями для данной кабельной линии;

б) при пробое изоляции в кабеле прибор производит измерение и самоблокируется, при этом гаснет лампа «ГОТОВ», цифровое табло показывает результат измерения, повторные пробои в кабеле не влияют на показание прибора;

в) нажать кнопку «СБРОС».

Отключение прибора после измерений

Прежде чем начать разбирать схему измерения, необходимо:

а) отключить питание высоковольтной испытательной установки от схемы;

б) заземлить провод высокого напряжения, идущий от высоковольтной установки, заземление должно быть видимым непосредственно на зажимах установки;

в) разрядить все жилы кабельной линии;

г) отключить сетевое питание прибора от сети.

Только при полной гарантии обесточивания схемы со стороны как высокого, так и низкого (сетевого) напряжения и заземления цепей высокого напряжения можно производить разборку схемы.

4. Порядок выполнения лабораторной работы

1) Ознакомиться с оборудованием рабочего места.

2) Собрать схему для измерения расстояния до места пробоя в кабеле (рис. 3.3).

3) Подключить прибор Щ-4120 при помощи шнура питания к сети и включить прибор кнопкой «СЕТЬ».

4) Проверить работоспособность прибора путем измерения установленной величины задержки.

5) Подготовить прибор Щ-4120 к проведению измерений.

6) Проверить исправность электрозащитных средств.

7) Включить аппарат АИИ-70М (см. приложение). Проверить работоспособность блокировок и защит.

8) Произвести плавно подъем напряжения на кабеле от аппарата АИИ-70М до напряжения пробоя и появления цифр на табло прибора Щ-4120.

9) Записать результат измерения при условии, что лампа «ПЕРЕПОЛНЕНИЕ СЧЕТЧИКА» не горит. Если лампа «ПЕРЕПОЛНЕНИЕ СЧЕТЧИКА» загорается, то измерение выполнено неправильно и его необходимо повторить.

10) Для более точного определения расстояния до места пробоя в кабеле выполнить еще два измерения согласно п.9., убедившись при этом, что разница между наибольшим и наименьшим показаниями прибора не превышает 30 м.

11) Определить расстояние до места пробоя в кабеле как среднее арифметическое значение трех результатов измерений.

На основании полученных результатов заполнить таблицу 3.2.

12) Снять напряжение с кабеля и отключить от сети аппарат АИИ-70М и прибор Щ-4120.

13) Снять заряд с провода высокого напряжения и заземлить его;

14) Разобрать схему и навести порядок на рабочем месте.

Таблица 3.2.

Результаты произведенных измерений

L_1	L_2	L_3	L_4

5. Содержание отчета

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

1) Технические данные прибора Щ-4120.

2) Схема подключения прибора Щ-4120 при измерении расстояния до места пробоя в трехфазном кабеле (рис. 3.3).

3) Заполненная таблица с результатами измерений.

4) Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1) В чем состоит сущность метода колебательного разряда для определения места повреждения на кабельной линии?

2) Что такое заплывающий пробой?

3) Рассказать порядок работы с прибором Щ-4120.

4) Какие меры безопасности нужно соблюдать при выполнении измерений.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ

Цели работы: Закрепить теоретические знания об определении мест повреждения на кабельной линии импульсным методом. Получить практические навыки по определению мест повреждения на кабельной линии импульсным методом с помощью измерителя неоднородности кабелей Р5-9.

1. Теоретические сведения

Импульсный метод определения мест повреждения на кабельных линиях основан на измерении времени пробега от места измерения до места повреждения и обратно короткого импульса, посылаемого в линию.

При этом расстояние до места повреждения определяется из выражения:

$$L_X = \frac{t_X}{2} \cdot v \text{, м} \qquad (4.1)$$

где v – скорость распространения импульса, для силовых кабельных линий 3... 10 кВ $v = 160 \pm 1$ м/мкс.

Процесс посылки импульса в кабель отражается на экране электронно-лучевой трубки прибора. Время пробега импульса (t_x) измеряют с помощью специальных калибровочных импульсов, следующих друг за другом через определенное время (2 мкс) и также наблюдаемых на экране ЭЛТ (линия масштабных отметок времени).

Расстояние до места повреждения определяется по экрану так:

$$L_X = n \cdot v \qquad (4.2)$$

где n – количество масштабных отметок времени на экране от места измерения до места повреждения.

Полярность отраженного импульса указывает на характер изменения волнового сопротивления в месте повреждения. Выброс вверх соответствует увеличению волнового сопротивления (обрыв), выброс вниз уменьшение волнового сопротивления (короткое замыкание).

В начале измерений прибор подключают к исправной жиле, отмечают картину распространения импульса и определяют, какому количеству масштабных отметок времени n соответствует полная длина линии. При известной длине кабеля фактическая скорость распространения импульса в линии определяется по формуле:

$$v = \frac{L}{n}, \text{ м/мкс} \qquad (4.3)$$

где L – полная длина кабеля, м.

После переключения прибора на поврежденную жилу расстояние определяют по формуле (4.2), скорость распространения импульса принимают равной 160 м/мкс.

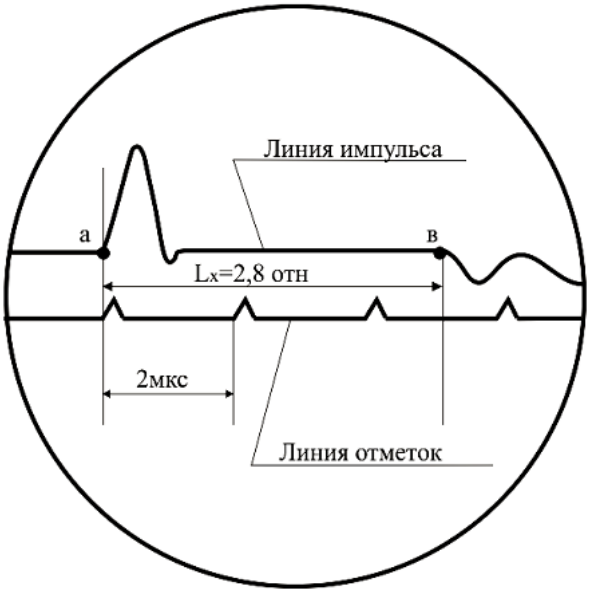


Рис. 3.1. Изображение на экране прибора при определении места повреждения в кабельной линии (короткое замыкание)

Картина, наблюдаемая на экране прибора изображена на рис. 3.1.

Импульсный метод применяется на кабельных линиях любых напряжений, выполненных кабелями любых марок, для определения всех видов повреждений (замыкание жилы на оболочку, двух или трех жил меду собой и на землю в одном месте обрыв токоведущих жил без заземления и с замыканием на землю) при условии, что переходное сопротивление в месте повреждения не превышает 200 Ом.

2. Устройство измерительного прибора Р5-9

Для определения места повреждения на кабельных линиях применяют измерители неоднородности кабеля Р5-9, Р5-9/1 или аналогичные им приборы. Отличительной особенностью Р5-9 по сравнению с Р5-9/1 является наличие встроенного автономного источника питания - батареи аккумуляторов.

Приборы Р5-9 и Р5-9/1 предназначены:

– для обнаружения импульсным методом повреждения в кабелях и определения его характера (обрыв, короткое замыкание);

– для обнаружения сосредоточенной неоднородности волнового сопротивления измеряемого кабеля (неоднородности от резкого снижения сопротивления изоляции, нарушения контакта, вставок и т.д.);

– для определения расстояния до неоднородности (повреждения).

Отсчет измеряемого расстояния производится непосредственно в единицах длины. Данные измерения приборы обеспечивают на кабелях различных типов с волновым сопротивлением от 10 до 1000 Ом длиной до 10 км при максимальном затухании отраженного сигнала относительно посылаемого 50 дБ.

Разрешающая способность приборов позволяет производить измерения на участках кабелей начиная с 1…1,5 м.

Погрешность измерения расстояния от конечного значения диапазона, в рабочих условиях не превышает ±1 %.

Условия эксплуатации:

– рабочая температура окружающего воздуха от минус 30 °С до плюс 50 °С;

– относительная влажность воздуха до 98 % при температуре до 35 °С.

Прибор рассчитан на питание от сети постоянного тока напряжением 27 В ± 10%, от встроенного автономного источника питания и от сети переменного тока напряжением 220В ± 10%, частотой 50 Гц и 400 Гц.

Все измерения производятся на отключенной с обеих сторон линии. Во избежание выхода прибора из строя необходимо предварительно разрядить линию, замкнув жилы между собой и на заземляющую шину.

В приборе имеются источники высокого напряжения +2200 В, –700 В, +220 В, –220 В, поэтому категорически запрещается работа с прибором, если его корпус не заземлен.

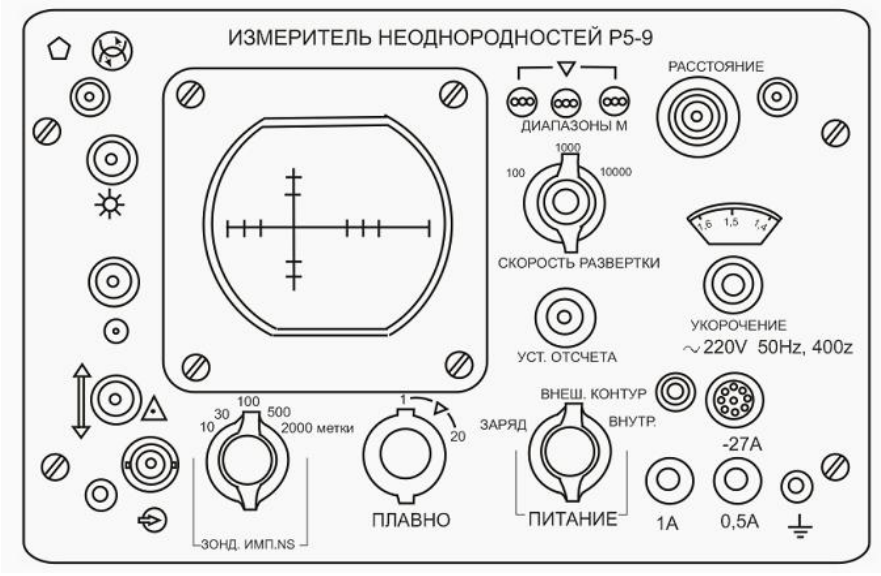


Рис. 4.2. Лицевая панель прибора Р5-9

Органы управления, подсоединения и контроля прибора размещены на передней панели прибора (рис. 4.2).

Назначение органов управления приведено в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

Назначение органов управления прибора Р5-9

Обозначение органов управления	Назначение органов управления
1. Ручка «ПИТАНИЕ»	Выбор вида работы: «ЗАРЯД», «ОТКЛ.», «ВНЕШ.», «КОНТР.», «ВНУТР.»
2. Ручка «РАССТОЯНИЕ»	Управление калиброванной задержкой развертки, предназначенное для определения расстояния до неоднородности.
3. Ручка «УКОРОЧЕНИЕ»	Установка коэффициента электромагнитной волны (ЭМВ) испытуемого кабеля.
4. Ручка «СКОР. РАЗВ.»	Плавное изменение скорости развертки для изменения масштаба просматриваемой линии.
5. Ручка «ДИАПАЗОНЫ М»	Переключение диапазона измерения расстояния: I диапазон – «100» II диапазон – «1000» III диапазон – «10000»
6. Ручка «ЗОНД. ИМП. ns»	Регулировка длительности зондирующего импульса.
7. Ручка «▽»	Включение меток и усилителя проходящих сигналов (УПС).
8. Ручка «ПЛАВНО»	Плавная регулировка усиления УПС.
9. Ручка «☼»	Регулировка яркости луча.
10. Ручка «⊙»	Регулировка фокусировки луча.
11. Ручка «УСТ. ОТСЧЕТА»	Перемещение импульсной характеристики по горизонтали.
12 Ручка «↕»	Перемещение луча по вертикали.
13. Разъем «⊃»	Подключение соединительного кабеля
14. Разъем «220V, 50,400Hz»	Подключение шнуров питания от сети переменного и постоянного тока.
15. Клемма «⏚»	Заземление корпуса прибора.
16. Держатели предохранителей «1 А», «0,5 А»	Защита прибора по постоянному и переменному току.

Продолжение табл. 4.1.

Обозначение органов управления	Назначение органов управления
17. Выведенные шлицом потенциометры «▼»	Калибровка шкалы «РАССТОЯНИЕ».
18. Индикаторная лампа Л2	Контроль включения прибора.

3. Правила работы с прибором Р5-9

Подготовка прибора к включению

а) Произвести внешний осмотр прибора и убедиться в отсутствии механических повреждений и неисправностей.

б) Установить прибор в удобное для работы положение вертикальное или горизонтально-наклонное.

в) Установить органы управления в исходное положение:

«РАССТОЯНИЕ» – «0»;
«СКОР. РЛЗВ.» - в крайнее левое;
«▽» – «I»;
«ПЛАВНО» – в среднее;
«ПИТАНИЕ» – «ОТКЛ.».

г) Подключить к разъему питания прибора соответствующий шнур.

д) Заземлить прибор.

е) Подключить шнур питания к питающей сети.

Включение прибора и проверка на функционирование

а) Установить ручку «ПИТАНИЕ» в положение «ВНЕШ.» при подключении прибора к внешней сети или в положение «ВНУТР.» при питании от внутреннего источника. При этом должна загореться индикаторная лампа, и через 0,5…2 мин. на электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) появляется линия развертки.

б) Проверить прибор на функционирование.

Для этого ручками «☼», «⊙», «↕» необходимо отрегулировать яркость, фокусировку и положение луча на экране ЭЛТ.

Положение линии развертки должно быть на середине экрана ЭЛТ. Включить переключателем «▽» метки. При этом на линии развертки должны появиться масштабные метки времени.

Подготовка к проведению измерений

а) ВНИМАНИЕ! Во избежание выхода из строя прибора все измерения необходимо производить на отключенной с обеих сторон и разряженной линии.

б) Подключить к прибору соединительный кабель.

в) Установить переключатель «ДИАПАЗОНЫ М» в положение, соответствующее длине испытуемого кабеля.

Результат измерения расстояния до неоднородности (временной задержки) будет более точным, если отсчет производить в конце диапазона измерения.

г) Установить ручку «УКОРОЧЕНИЕ» в положение, соответствующее значению коэффициента укорочения ЭМВ в испытуемом кабеле. Значения коэффициентов укорочения волны для ряда типов кабелей приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2.

Коэффициенты укорочения волны для различных типов линий

Тип линии	Скорость распространения импульсного сигнала, м/мкс	Коэффициент укорочения ЭМВ
Воздушные линии электропередачи 35 – 110 – 220 – 400 кВ	295	1,02
Воздушные линии связи, бронза	286	1,05
Воздушные линии связи, сталь	230	1,3
Кабели силовые энергетические	150…158	1,9…2,0
Коаксиальные высокочастотные кабели: а) с полиэтиленовой изоляцией (РК-52-II, РК-75-4-16);	200	1,51
б) с полувоздушной изоляцией (РК-150-7-1);	250	1,2
в) с фторопластовой изоляцией	213	1,41

д) При измерениях кабелей больших длин или, с большим затуханием ручку «ЗОНД. ИМП. ns» установить в одно из положений «100», «500», или «2000», а переключатель «▽» в положение «20».

е) Ручкой «УСТАП. ОТСЧЕТА» совместить фронт зондирующего импульса с отсчетной риской на шкале ЭЛТ.

ж) Подключить к соединительному кабелю измеряемый кабель. Штекер, соответствующий выводу средней жилы соединительного кабеля, подсоединяется к незаземленной жиле измеряемого кабеля. Штекер с маркировкой «⊥», соответствующий выводу оболочки соединительного кабеля, подсоединяется к заземленной оболочке кабеля.

Режим измерений

Обнаружение повреждения на кабельной линии и определение расстояния до него производится в следующем порядке:

а) подключить к разъему « » прибора соединительный высокочастотный (в.ч.) кабель;

б) выбрать необходимый диапазон измерения, исходя из ожидаемой длины кабеля;

в) установить ручку «УКОРОЧЕНИЕ» в положение, соответствующее значению коэффициента укорочения волны для данного типа кабеля (коэффициент укорочения - паспортная величина, определяемая по справочнику или по табл. 4.2);

г) установить тумблер «ЗОНД ИМП. ns» в положение «10» или «30» при испытании кабелей малых длин и в положение «100» при испытании кабелей с большим затуханием или при плохом согласовании, если измерения производятся на диапазонах 100 м и 1000 м. При измерении на диапазонах 1000 и 10000 м длительность зондирующего импульса устанавливается равной «100», «500» или «2000» в зависимости от длины кабеля и затухания;

д) совместить ручкой «УСТ. ОТСЧЕТА» фронт зондирующего импульса с отсчетной риской на шкале ЭЛТ;

е) подключить к соединительному кабелю испытуемый кабель;

ж) произвести осмотр импульсной характеристики (ИХ) линии на экране ЭЛТ путем вращения ручки «РАССТОЯНИЕ» вправо;

з) отыскать всплеск на ИХ линии, соответствующий отражению от неоднородности места предполагаемого повреждения линии;

и) установить характер повреждения (рис. 4.3);

к) вращением ручки «РАССТОЯНИЕ» совместить фронт отраженного сигнала с отсчетной риской;

л) произвести отсчет расстояния до неоднородности по шкале «РАССТОЯНИЕ» с учетом положения ручки «ДИАПАЗОНЫ М».

Отсчетное устройство «РАССТОЯНИЕ» имеет две шкалы: грубую –10 делений и точную – 100 делений.

Отсчет производится следующим образом:

$$L_X = l_Д(N \cdot 10^{-1} + n \cdot 10^{-3}) \qquad (4.4)$$

где $l_Д$ – показание ручки «ДИАПАЗОНЫ М», м;
N – показание грубой шкалы;
n – показание точной шкалы.

Пример отсчета:
показание грубой шкалы – $N = 2$;
показание точной шкалы – $n = 36$;
диапазон измерения – $l_Д$ = «100»:

$$L_X = 100 \cdot (2 \cdot 10^{-1} + 36 \cdot 10^{-3}) = 23{,}6 \text{ м}$$

Для повышения точности измерений из результата отсчета необходимо вычесть длину соединительного кабеля.

Если линия протяженная и прибор показал повреждение в ее конце, то для большей точности желательно произвести измерение с другого конца.

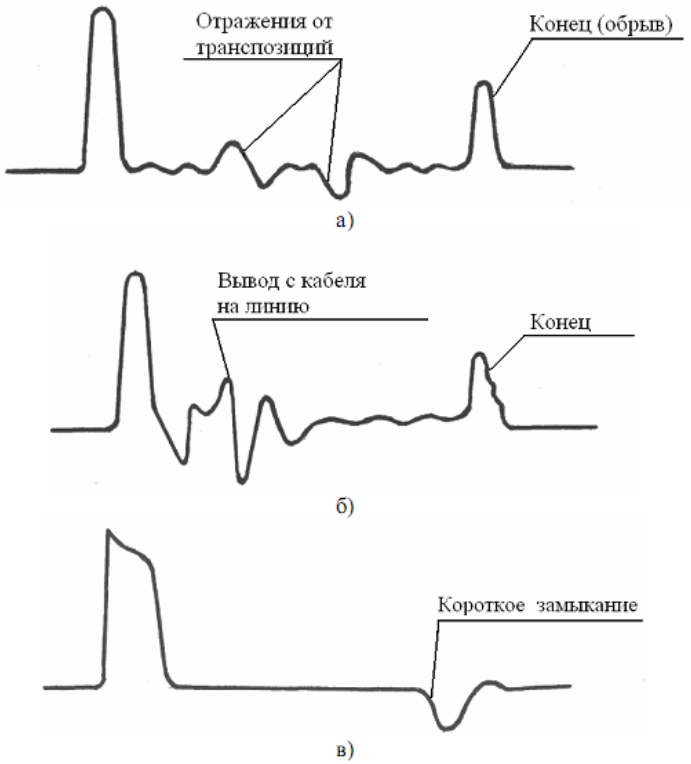


Рис. 4.3. Импульсные характеристики линий различного назначения: а) линия электропередачи; б) линия связи (бронза); в) воздушная линия связи (сталь)

4. Порядок выполнения работы

1) Ознакомиться с оборудованием рабочего места.

2) Подготовить прибор Р5-9 к включению.

3) Включить прибор Р5-9 и проверить его на функционирование.

4) Подготовить прибор Р5-9 к проведению измерений.

5) Измерить длину кабельной линии.

6) На макете кабельной линии создать обрыв и определить расстояние до места повреждения.

7) Устранить обрыв на макете кабельной линии и создать искусственное короткое замыкание. Определить расстояние до места повреждения.

8) Полученные при измерениях данные занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3.

Результаты произведенных измерений

Измеряемое расстояние	$l_Д$	N	n	L_X
до конца кабельной линии				
до места обрыва				
до места короткого замыкания				

5. Содержание отчета

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

1) Рисунки импульсных характеристик кабельной линии, полученных на ЭЛТ прибора, при проведении всех измерений.

2) Расчет расстояния до неоднородности кабеля на основании проведенных измерений и заполненная таблица 4.3.

3) Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы

1) В чем состоит сущность импульсного метода для определения места повреждения на кабельной линии?

2) Рассказать устройство прибора Р5-9.

3) Рассказать порядок выполнения измерений с помощью прибора Р5-9.

Лабораторная работа № 5

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы: Получить навыки по измерению сопротивления изоляции обмоток двигателя с помощью мегомметра и методом вольтметра.

1. Теоретические сведения

Применяемая для изоляции обмоток электрических машин и трансформаторов изоляция не является идеальным диэлектриком. Нагрев и воздействие внешних факторов приводят к тому, что в изоляции появляются микротрещины, которые способствуют появлению тока утечки между фазами, что приводит к коротким замыканиям между фазами или фазой и землей.

Нормы значения сопротивления изоляции при приемосдаточных испытаниях регламентированы «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) и представлены в таблице 5.1 [6].

Таблица 5.1.

Допустимое сопротивление изоляции электродвигателей переменного тока

Испытуемый объект	Напряжение мегомметра, кВ	Сопротивление изоляции
Обмотка статора напряжением до 1 кВ	1	Не менее 0,5 МОм при температуре 10…30°С
Обмотка ротора синхронного электродвигателя и электродвигателей с фазным ротором	0,5	Не менее 0,2 МОм при температуре 10…30°С (допускается не ниже 2 кОм при +75°С или 20 кОм при +20°С для неявнополюсных роторов)

Сопротивление изоляции обмоток вновь вводимых в эксплуатацию электрических машин до 500 кВт на номинальное напряжение до 10,5 кВ должно соответствовать нормам, приведенным в таблице 5.2.

Таблица 5.2.

Допустимое сопротивление изоляции обмоток R_{60} электродвигателей мощностью до 5000 кВт

Температура обмотки, °С	R_{60} при номинальном напряжении машины, МОм		
	3…3,15 кВ	6…6,3 кВ	10…10,5 кВ
10	20	60	100
20	30	40	70

Продолжение табл. 5.2.

Температура обмотки, °С	R_{60} при номинальном напряжении машины, МОм		
	3…3,15 кВ	6…6,3 кВ	10…10,5 кВ
30	15	30	50
40	10	20	35
50	7	15	25
60	5	10	17
75	3	6	10

Для машин мощностью выше 5000 кВт, а также для машин на номинальное напряжение выше 10,5 кВ наименьшее сопротивление изоляции, измеренное при температуре 75 °С, определяется по формуле:

$$R_{60} = \frac{U_{НОМ}}{1000 + P_{НОМ} \cdot 0{,}01} \qquad (5.1)$$

где $U_{НОМ}$ – номинальное линейное напряжение, В;
$P_{НОМ}$ – номинальная мощность, кВт

Если сопротивление изоляции, вычисленное по этой формуле, ниже 0,5 МОм, то наименьшее допустимое значение принимают равным 0,5 МОм.

Для температур 10…75 °С наименьшее значение сопротивления изоляции обмоток машины определяют, умножая значения, полученные по формуле, на температурный коэффициент K_T, значения которого приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3.

Значения температурного коэффициента (K_T)

Температура, °С	K_T	Температура, °С	K_T
10	9,4	50	2,4
20	6,7	60	1,7
30	4,7	70	1,2
40	3,4	75	1

При измерении сопротивления изоляции обмоток электродвигателей с номинальным напряжением до 500 В включи-

тельно рекомендуется применять мегомметр до 500 В, а для электродвигателей напряжением выше 500 В мегомметр на 1000 В. Ручку мегомметра рекомендуется вращать равномерно с частотой около 150 об/мин. Измерение следует проводить при установившемся положении стрелки по истечении 60 с после начала вращения ручки мегомметра.

Для электродвигателей, у которых выведены концы и начала всех фаз, измерение сопротивления изоляции производят между каждой фазой и корпусом. В этом случае допустимое минимальное сопротивление изоляции должно быть повышено в 3 раза.

При измерении сопротивления изоляции каждой из электрических цепей все другие цепи должны быть соединены с корпусом машины. По окончании измерения сопротивления изоляции каждой электрически независимой цепи следует разрядить ее на заземленный корпус электродвигателя.

Измерение сопротивления изоляции можно производить также сетевым мегомметром и методом вольтметра. Схемы соединений при измерении сопротивлений изоляции методом вольтметра при питании сетей постоянным и переменным током изображены на рисунках 5.1 и 5.2.

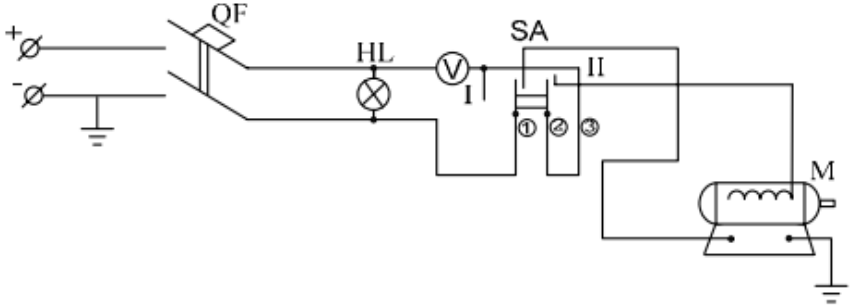


Рис. 5.1. Измерение сопротивления изоляции вольтметром от сети постоянного тока

Для получения большей точности измерений вольтметр выбирают с большим собственным сопротивлением (30000…50000 Ом). Измерения производят на одном пределе вольтметра.

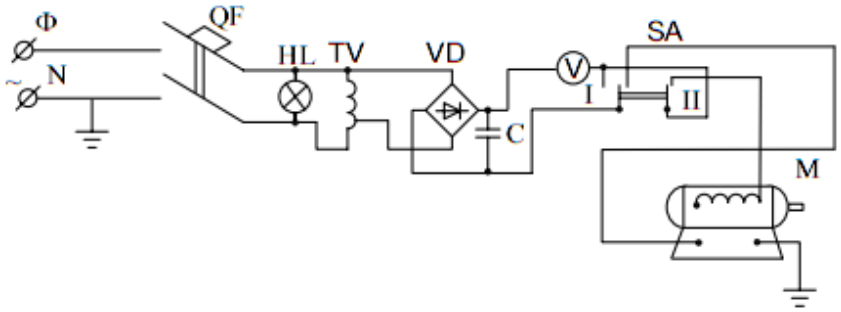


Рис. 5.2. Измерение сопротивления изоляции вольтметром от сети переменного тока

2. Методика выполнения измерений

При измерении от электрической сети, один полюс которого может быть заземлен (рис. 5.1), во избежание короткого замыкания следует подключить заземленный корпус электродвигателя таким образом, чтобы он оказался заземленным с заземленным полюсом сети.

При питании измерительной схемы от сети переменного тока (рис. 5.2), если выпрямительный мост включен в сеть не непосредственно, а через трансформатор, отделяющий сеть переменного тока от цепи выпрямленного напряжения, заземленный корпус электродвигателя может быть присоединен к любому из зажимов выпрямительного моста.

Метод вольтметра основан на известном в электротехнике положении: напряжения на последовательно соединенных сопротивлениях распределяются пропорционально этим сопротивлениям.

Для подачи напряжений могут использоваться лабораторные автотрансформаторы.

Для проведения испытаний необходимо включить автоматический выключатель QF, при этом загорается сигнальная лампочка HL. При установке переключателя SA в положении I вольтметром V измеряется напряжение испытаний U_1 (В). После перевода переключателя в положение II показание вольтметра будет U_2. Таким образом, падение напряжения в изоляции

составит $U_1 - U_2$ (В). Так как в положении II переключателя SA сопротивление вольтметра R_B (указанное на шкале вольтметра или приведенное в его паспорте) и измеряемое сопротивление изоляции $R_{ИЗ}$ соединены последовательно, то падение напряжения в них распределяются прямо пропорционально значениям их сопротивлений:

$$\frac{R_B}{R_{ИЗ}} = \frac{U_2}{U_1 - U_2} \qquad (5.2.)$$

Отсюда получим:

$$R_{ИЗ} = R_B \frac{U_1 - U_2}{U_2} = R_B\left(\frac{U_1}{U_2} - 1\right), \text{ МОм} \qquad (5.3)$$

3. Порядок выполнения работы

1) Измерить сопротивление изоляции асинхронного двигателя с помощью мегомметра до 500 В.

2) Собрать схему рис. 5.2, предварительно убедившись, что рукоятка автотрансформатора выведена на ноль.

3) Включить автомат QF и убедиться в том, что на схему подано напряжение (загорается лампочка HL).

4) Установить переключатель SA в положении I.

5) Поворотом рукоятки «ЛАТР» установить нужное напряжение (обычно номинальное напряжение двигателя) U_1 по вольтметру V и записать его значение (В).

6) Установить переключатель SA в положении II.

7) Записать установившееся напряжение U_2 (В) на вольтметре.

8) Подсчитать сопротивления изоляции $R_{ИЗ}$ по формуле 5.3.

4. Содержание отчета

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

1) Таблицы допустимых сопротивлений изоляции обмоток.

2) Рисунки схем измерений.

3) Данные проведенных измерений и расчет сопротивления изоляции $R_{ИЗ}$.

3) Выводы по работе.

5. Контрольные вопросы

1) Какие классы изоляции применяют для обмотки электродвигателей?

2) Каково минимально допустимое значение сопротивления изоляции для электродвигателей различного напряжения?

3) Рассказать порядок измерения сопротивления изоляции обмоток электродвигателя с помощью мегомметра.

4) В чем состоит метод измерения сопротивления изоляции обмоток с помощью вольтметра?

Лабораторная работа №6

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

Цель работы: Изучить метод амперметра-вольтметра для измерения сопротивления постоянному току обмоток машин переменного и постоянного тока.

1. Теоретические сведения

При измерении сопротивления обмоток постоянному току важно не только абсолютное значение сопротивления и соответствия его расчетному, но и симметричность отдельных фаз. Одинаковое, но значительно отличающиеся от расчетного значения сопротивления каждой фазы могут быть обусловлены ошибкой в числе витков катушки, применением провода с сечением, отличных от расчетного, или отличием средней длины витков от расчетной.

Разные значения сопротивлений отдельных фаз могут быть следствием многих причин: ошибок в схемах соединений

катушек и катушечных групп, витковых замыканий и плохого качества паек.

На основании ПУЭ измерение сопротивления постоянному току электродвигателей переменного тока производится у обмоток статоров электродвигателей напряжением 3 кВ и выше и у электродвигателей мощностью 300 кВт и более. Сопротивление обмоток ротора измеряется у синхронных двигателей с фазным ротором. Согласно ПТЭ и ПТБ измеренные значения сопротивлений различных фаз обмоток не должны превышать заводских более чем на ± 2 %.

Для измерения сопротивлений используют прямой и косвенный методы.

При прямом методе измерения применяют мегомметр, омметры, вольтамперметры, различные мосты, в которых реализуются методы сравнения измеряемого сопротивления с сопротивлением образцовых резисторов, и др.

Для проведения измерений этим методом массовой намотке статоров асинхронных двигателей и изготовлении обмоток возбуждения статоров коллекторных двигателей можно применять прибор, изготовленный по схеме рисунок 6.1.

В плечо AD включена эталонная обмотка $R_Э$ сопротивление которой выполнено с большей точностью и равно номинальному значению. В плечо AC включена обмотка статора R_X, подлежащая измерению сопротивления. В плечи BC и BD включены постоянные сопротивления R_1 и R_2.

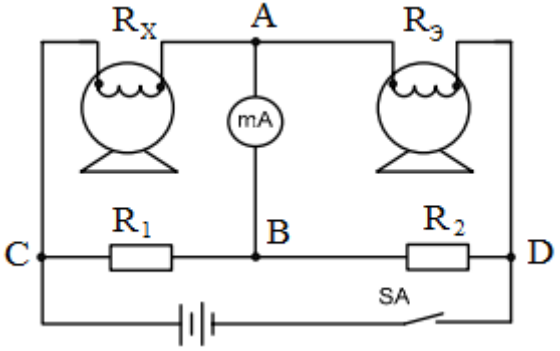


Рис. 6.1. Схема моста для быстрого контроля сопротивления обмоток статора

Схема представляет собой обычный одинарный мост и для того, чтобы по миллиамперметру mA не проходил ток, необходимо чтобы соблюдалось равенство:

$$R_1 \cdot R_Э = R_2 \cdot R_X \qquad (6.1)$$

Поэтому, если подобрать $R_1 = R_2$, то стрелка миллиампера не будет отклоняться.

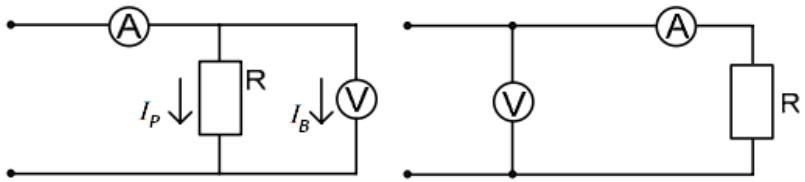
Обмотка R_X считается годной, если стрелка прибора при измерении не отклоняется в пределах ± 2%.

Из косвенных методов измерения сопротивления постоянному току наиболее распространен метод амперметра и вольтметра. Суть метода состоит в том, что по испытуемой обмотке пропускают электрический ток, измеряют силу этого тока и напряжение на выводах обмотки. Затем определяют се сопротивление.

2. Методика выполнения измерений

Если ожидаемое сопротивление меньше 100 Ом, то в процессе пусконаладочных работ при измерениях сопротивления можно не учитывать ток, проходящий через вольтметр I_B и выполнять измерения по схеме на рисунке 6.2*а*.

$$I_B = \frac{U_B}{R_B} \qquad (6.2)$$



а) б)

Рис. 6.2. Измерительные схемы: а) для измерения малых сопротивлений; б) для измерения больших сопротивлений

Если ожидаемое сопротивление больше 100 Ом, то при измерении сопротивлений можно не учитывать падение напряжения на амперметрах $U_A = I_A \cdot R_A$ и выполнять измерения по схеме на рисунке 6.2б.

Для проведения измерений при пусконаладочных работах используют любую из двух схем, если измеряемое сопротивление находится в пределах 1…100 Ом. В этом случае сопротивление амперметра на несколько порядков меньше, а сопротивление вольтметра на несколько порядков больше значения измеряемого сопротивления. Поэтому точность измерений при использовании любой схемы удовлетворительная.

Обычно не возникает сложностей при выборе приборов и схем для измерения малых сопротивлений до 100 кОм. Но при измерениях малых сопротивлений (менее 1 Ом) необходимо обращать внимание на выбор и правильность включения вольтметра, учитывая сопротивление контактов и соединительных проводов. Падения напряжения на малых сопротивлениях незначительны, поэтому для измерения напряжений обычно применяются милливольтметры, собранные по схеме, изображенной на рисунке 6.3.

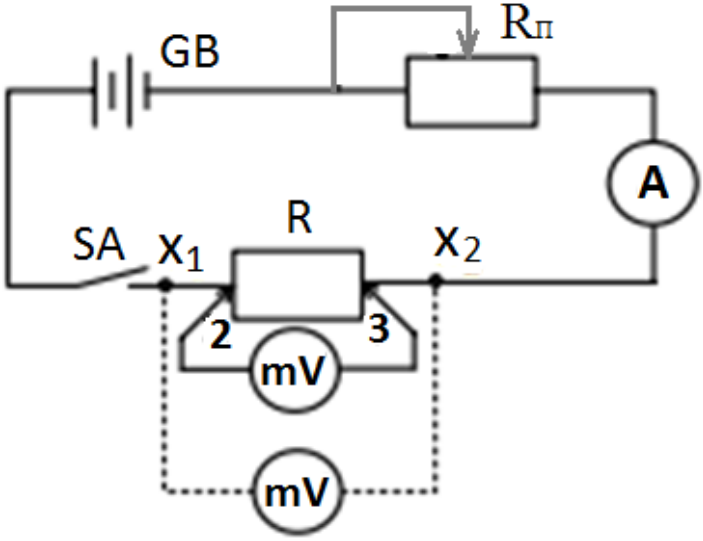


Рис. 6.3. Схема включения приборов для измерения очень малых сопротивлений методом амперметра и вольтметра

При проведении измерений с милливольтметром mV необходимо также учитывать, что при обрыве измеряемого сопротивления R или на участке между клеммами X_1 и X_2,

милливольтметр окажется под полным напряжением источника тока, которое может во много раз превышать номинальное напряжение mV и вызовет его повреждение. Поэтому рекомендуется такая последовательность измерений:

а) собирают токовую цепь, включают се с помощью выключателя SA;

б) с помощью переменного резистора $R_П$ устанавливают силу тока, чтобы она выражалась целым числом, а стрелка прибора находилась в последней трети шкалы.

в) затем с помощью щупов 2 и 3 подключают милливольтметр mV, расположив щупы в непосредственной близости от выводов измеряемого сопротивления.

3. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему в соответствии с рисунком 6.4.

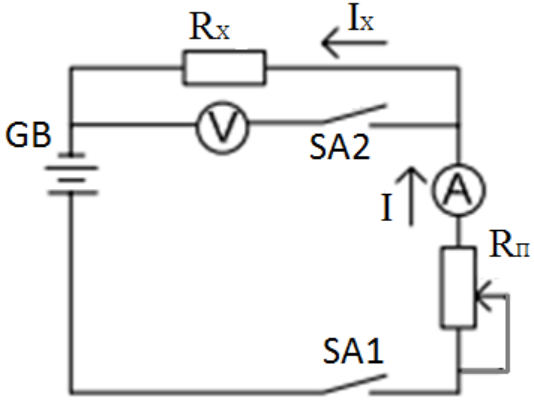


Рис. 6.4. Схема для измерения сопротивления

2) Включить выключатель SA1.

3) Регулировочным резистором установить ток в пределах до 20 % от номинального тока двигателя. Время включения тока при каждом измерении не должно превышать 1 мин.

4) При установившемся значении тока включить выключатель SA2.

5) Записать показания амперметра и вольтметра.

6) Произвести расчеты:

а) при измерении сопротивления обмотки однофазного двигателя:

$$R_X = \frac{U}{I - \frac{U}{R_B}} \quad (6.3)$$

где R_x – искомое сопротивление обмотки;

R_B – внутренне сопротивление вольтметра;

U – напряжение источника тока;

I – суммарный ток цепи.

б) при измерении сопротивлений обмоток трехфазного двигателя, если выведены только три конца обмотки следует повторить три измерения между каждой парой выводных концов ($R_{1\text{-}3}$, $R_{2\text{-}3}$, $R_{3\text{-}1}$).

При соединении в «звезду»:

$$R_{x1} = 0{,}5 \cdot R_{1\text{-}2} \quad (6.4)$$

При соединении в «треугольник»:

$$R_{x1} = 1{,}5 \cdot R_{1\text{-}2} \quad (6.5)$$

Если измеренные сопротивления на выводах различаются между собой, то сопротивление каждой фазы составляет:

а) при соединении звездой:

$$R_{x1} = 0{,}5(R_{1\text{-}2} + R_{1\text{-}3} - R_{2\text{-}3}) \quad (6.6)$$

$$R_{x2} = 0{,}5(R_{1\text{-}2} + R_{2\text{-}3} - R_{3\text{-}1}) \quad (6.7)$$

$$R_{x3} = 0{,}5(R_{1\text{-}3} + R_{2\text{-}3} - R_{1\text{-}2}) \quad (6.8)$$

б) при соединении в треугольник:

$$R_{X1} = \frac{2R_{2-3} \cdot R_{3-1}}{R_{2-3} + R_{3-1} - R_{1-2}} - 0{,}5(R_{2-3} + R_{3-1} - R_{1-2}) \quad (6.9)$$

$$R_{X2} = \frac{2R_{3-1} \cdot R_{1-2}}{R_{3-1} + R_{1-2} - R_{2-3}} - 0{,}5(R_{3-1} + R_{1-2} - R_{2-3}) \quad 6.10)$$

$$R_{X3} = \frac{2R_{1-2} \cdot R_{2-3}}{R_{1-2} + R_{2-3} - R_{3-1}} - 0{,}5(R_{1-2} + R_{2-3} - R_{3-1}) \quad (6.11)$$

4. Содержание отчета

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

1) Рисунки схем измерений.

2) Данные проведенных измерений и расчет сопротивлений обмоток при различных соединениях.

3) Выводы о пригодности обмоток.

5. Контрольные вопросы

1) Какое влияние оказывает время измерения на точность измерения?

2) Каковы нормы величины сопротивления обмоток двигателей переменного тока?

3) Какими причинами может быть обусловлено значение сопротивления обмотки, не отвечающее либо паспортным данным, либо нормам испытаний?

4) Назовите прямые методы измерения обмоток постоянному току.

Лабораторная работа №7

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБОВ СУШКИ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цели работы: Изучить способы сушки трансформаторов. Научиться производить сушку методом потерь в стали.

1. Теоретические сведения

Вопрос о необходимости сушки трансформаторов перед включением решается по комплексу параметров:

- состоянию масла;
- сопротивлению изоляции обмоток $R_{60''}$;
- коэффициенту абсорбции $R_{60''} / R_{15''}$;
- тангенсу угла диэлектрических потерь обмоток $tg\delta$;
- приращению $\Delta C/C$;
- состоянию индикаторного силикагеля;
- соотношению C_2/C_{50}

Различают следующие виды сушки: контрольный прогрев, контрольная подсушка и сушка [3].

Все виды сушки преследуют одну цель - привести изоляцию трансформатора в состояние, отвечающее требованиям и нормам.

Бумажно-масляная изоляция в трансформаторах рассчитана на надежную работу лишь при условии ее высоких изоляционных свойств – сопротивления, электрической прочности, емкости и малых диэлектрических потерь. Эти факторы прежде всего зависят от степени увлажненности изоляции.

Благодаря своей капиллярной структуре бумажная изоляция весьма гигроскопична. Немного менее гигроскопично трансформаторное масло. Поэтому, находясь на воздухе, активная часть, даже пропитанная маслом, увлажняется. Кроме того, у старых трансформаторов без воздухоосушителей

изоляция увлажняется и в процессе длительной эксплуатации. Даже изоляция вновь изготовленных обмоток имеет повышенную влажность.

Термодинамический процесс сушки заключается в том, что изоляция нагревается и влага перемещается из ее внутренних пор к поверхности, а затем в окружающую среду. Чем выше температура нагрева изоляции, тем больше разница между парциальными давлениями в соседних слоях изоляции и тем интенсивнее сушка, поэтому изоляцию нагревают до температуры 100 – 105 °С. В то же время эффективно снижать давление в окружающем пространстве, т. е создавать вакуум.

Контрольный прогрев трансформаторов производится в одном из следующих случаев:

а) характеристики изоляции не соответствуют нормам;

б) продолжительность хранения трансформатора без доливки масла превышает установленный срок, но не более 7 мес.;

в) время пребывания активной части на воздухе при слитом масле превышает нормы, но не более чем вдвое;

г) при наличии признаков увлажнения масла или при значениях $\Delta C/C$ (для трансформаторов, транспортируемых без масла), превышающих нормы.

Контрольная подсушка производится в следующих случаях:

а) характеристики изоляции после контрольного прогрева не соответствуют нормам;

б) наличие признаков увлажнения масла или нарушение герметичности.

Сушка производится в следующих случаях:

а) на активной части или в баке обнаружены следы воды;

б) трансформатор хранился без масла или без доливки масла более 1-го года;

в) индикаторный силикагель увлажнен, потерял голубой цвет;

г) пребывание активной чисти на воздухе вдвое и более превышает установленное время;

д) характеристики изоляции трансформатора после контрольной подсушки не соответствуют нормам.

Сушка активной части может производиться следующими способами [1]:

а) в вакуум-сушильных шкафах или печах;

б) в сушильных шкафах или исчах без вакуума;

в) в собственном баке вихревыми токами (индукционный способ);

г) в собственном баке токами короткого замыкания;

д) в собственном баке постоянным током;

е) в собственном баке токами нулевой последовательности;

ж) в собственном баке сухим горячим маслом;

з) в камере или в собственном баке сухим горячим воздухом от тепловоздуходувки.

Каждым из этих способов можно добиться высококачественной сушки активной части. Однако затраты на оборудование, непосредственные энергетические затраты на нагревание, отвод излишков теплоты, циркуляцию и другое будут неодинаковы. Поэтому для каждого вида сушки применяют свои методы.

2. Методика выполнения сушки трансформаторов

Контрольный прогрев

Контрольный прогрев производят с маслом без вакуума методами постоянного тока, короткого замыкания, индукционным, а также методом циркуляции нагретого масла. Температура верхних слоев масла при контрольном прогреве не должна превышать 75 °С и быть не более чем на 15 °С выше паспортной при прогреве индукционным методом и методом

циркуляции и не более чем на 5 °С выше паспортной при прогреве методом постоянного тока или методом короткого замыкания. Контрольный прогрев заканчивается при температуре верхних слоев масла, превышающей на $5°C$ температуру, до которой производят прогрев. Контрольный прогрев методами постоянного тока и короткого замыкания запрещается проводить до получения положительных результатов следующих измерений:

а) данных холостого хода при пониженном напряжении;

б) сопротивления обмоток постоянному току и коэффициента трансформации при выбранном положении переключателей;

в) сопротивления изоляции обмоток, а также в случае обнаружения каких-либо дефектов активной части.

Сушка методом постоянного тока

Для прогрева трансформатора постоянным током необходимо пропускать через его обмотки (обычно используют обмотки ВН и СН) ток, близкий к номинальному. Для равномерного прогрева желательно обеспечить последовательное или параллельное соединение всех трех фаз обмоток. Иногда применяют схемы с последовательным соединением обмоток только двух фаз или схемы, в которых две фазы соединены параллельно, а третья включена последовательно.

Напряжение, подводимое для прогрева к трансформатору, в зависимости от схемы соединения его обмоток составляет:

а) при параллельном соединении всех трехфазных обмоток;

$$U_{ПР} = I_{МАХ} \cdot R_{Ф} \cdot k \ , \text{В} \qquad (7.1)$$

б) при двух фазах, соединенных параллельно и включенных последовательно с третьей:

$$U_{ПР} = 2I_{МАХ} \cdot R_{Ф} \cdot k \ , \text{В} \qquad (7.2)$$

в) при двух крайних фазах, включенных последовательно и при трех фазах, включенных параллельно:

$$U_{ПР} = 3I_{MAX} \cdot R_{Ф} \cdot k \ , \text{В} \qquad (7.3)$$

где I_{MAX} – максимальный фазный ток прогреваемой обмотки, А;

$R_{Ф}$ – сопротивление фазы обмотки при 15 °С, Ом;

k = 0,8…0,9 – коэффициент, учитывающий изменение сопротивления $R_{Ф}$ при нагреве.

В начале прогрева до достижения температуры верхних слоев масла 40 °С допускается прогрев током, равным 1,2 номинального. В процессе прогрева термосигнализаторами контролируется температура верхних слоев масла. Температуру прогреваемой обмотки определяют по ее омическому сопротивлению $R_{Г}$ (которое измеряют в процессе прогрева) с помощью соотношения:

$$t_{Г} = \frac{R_{Г}}{R_{X}}(235 + t_{X}) - 235 \, , \, °\text{C} \qquad (7.4)$$

где R_X и t_X – сопротивление и температура обмотки, указанные в паспорте трансформатора.

Время нагрева составляет не менее 10 ч, считая с момента включения трансформатора.

Сушка методом короткого замыкания

Для сушки токами короткого замыкания одну из обмоток замыкают накоротко, а на другую подают напряжение короткого замыкания, определяемое по паспортным данным трансформатора. Схемы включения обмоток трехфазных трансформаторов при этом методе прогрева приведены на рисунках 7.1. и 7.2.

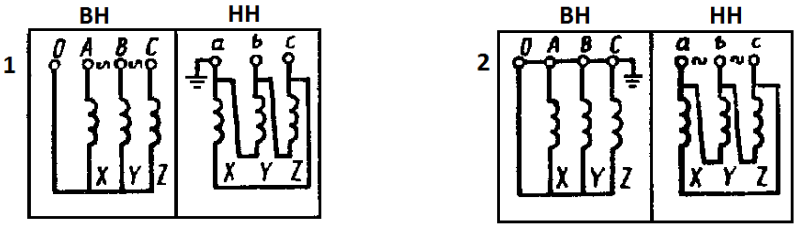


Рис. 7.1. Схемы включения обмоток трехфазных двухобмоточных трансформаторов при сушке методом короткого замыкания

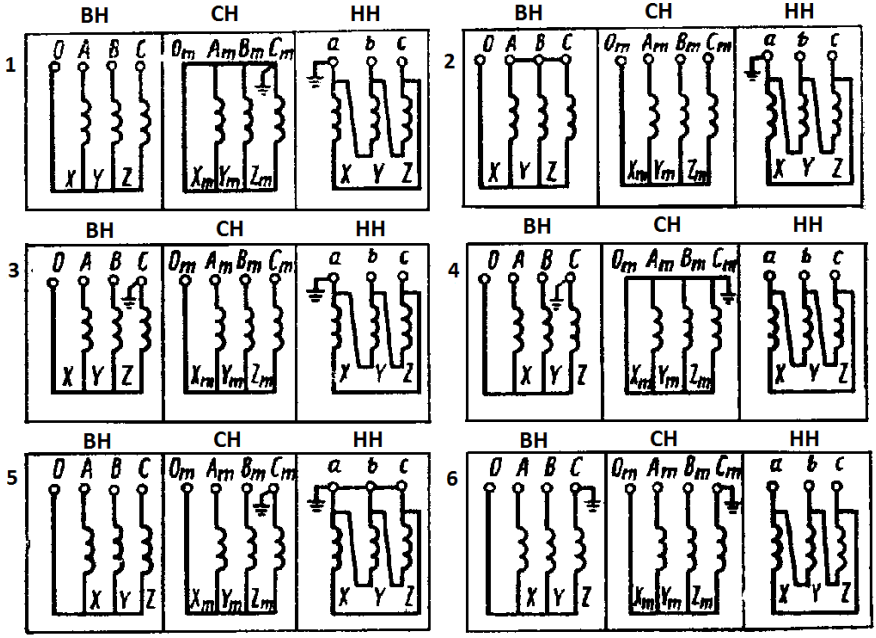


Рис. 7.2. Схемы включения обмоток трехфазных трехобмоточных трансформаторов при сушке методом короткого замыкания

Мощность для прогрева $P_{ПР}$, трехфазных трансформаторов определяется:

а) при потерях короткого замыкания (P_K) менее 500 кВт и температуре обмоток 75 °С:

$$P_{ПР} = \frac{1}{3} P_K, \text{ кВт} \qquad (7.5)$$

б) при $P_K > 500$ кВт мощность прогрева определяется:

$$P_{ПР} = 0{,}49 \cdot P_K, \text{ кВт} \qquad (7.6)$$

Если мощности обмоток, участвующих в прогреве, равны и неравны и питание подается на обмотку меньшей мощности, то ток прогрева (А) определяют по формуле:

$$I_{ПР} = I_{НОМ} \sqrt{\frac{P_{ПР}}{P_K}}, \text{ А} \qquad (7.7)$$

где $I_{НОМ}$ – номинальный линейный ток питаемой обмотки, А.

Если мощности обмоток не равны и питание подается на обмотку большей мощности, то ток прогрева определяют по формуле:

$$I_{ПР} = I_{НОМ} \sqrt{\frac{P_{ПР}}{P_K}} \cdot \frac{P_{2НОМ}}{P_{1НОМ}}, \text{ А} \qquad (7.8)$$

где $P_{1НОМ}$ – номинальная мощность (большая) питаемой обмотки, кВ·А;

$P_{2НОМ}$ – номинальная мощность (меньшая) обмотки, замкнутой накоротко, кВ·А.

При этом должно соблюдаться соотношение:

$$I_{ПР} \le 0{,}7\, I_{НОМ}, \text{ А} \qquad (7.9)$$

Напряжение прогрева трансформатора, когда мощности обмоток равны и не равны, а питание подается на обмотку большей мощности, определяют по формуле:

$$U_{ПР} = \frac{U_K \cdot U_{НОМ}}{100} \cdot \frac{I_{ПР}}{I_{НОМ}}, \text{ кВ} \qquad (7.10)$$

где U_K – напряжение К.З. (%) пары обмоток, участвующих в прогреве;

$U_{НОМ}$ – номинальное напряжение питаемой обмотки, кВ.

Если мощности обмоток, участвующих в прогреве, не равны и питание подается на обмотку меньшей мощности, то напряжение прогрева определяют по формуле:

$$U_{ПР} = \frac{U_К \cdot U_{НОМ}}{100} \cdot \frac{I_{ПР}}{I_{НОМ}} \cdot \frac{P_{2НОМ}}{P_{1НОМ}}, \text{ кВ} \qquad (7.11)$$

Прогрев методом короткого замыкания (как и прогрев постоянным током) запрещается производить в случае обнаружения неисправностей, указанных выше.

Сушка методом циркуляции нагретого масла.

Этот метод допускается использовать для сушки активной части трансформатора без демонтажа на месте его установки и отсоединения от сети только с отключением.

Бак трансформатора соединяют двумя маслопроводами (всасывающим и нагнетающим) с системой принудительной циркуляции масла. В систему включают маслонагреватель. фильтры и масляный насос. Схема сушки может быть и незамкнутой, когда увлажнившееся масло, поглотившее из изоляции влагу, больше не используют, а заменяют постепенно сухим горячим маслом до полного высушивания изоляции.

При незамкнутой схеме качество сушки выше, но требуется большое количество масла (примерно десятикратное от количества масла в баке). При замкнутой схеме масло не успевает, как следует, просушиваться и попадает в бак трансформатора не таким гигроскопичным, как свежее, поэтому сушка продолжается дольше.

Существует также опасность, что масло в замкнутой системе придет в полную негодность, его остатки попадут в каналы обмоток и магнитопровода и будут способствовать быстрому ухудшению вновь залитого свежего масла. Этот способ сушки особо пожароопасен и рекомендуется к применению лишь в исключительных случаях, когда возможность применения других методов сушки отсутствует.

Контрольная подсушка

Контрольная подсушка отличается от контрольного прогрева тем, что она производится с применением вакуума 46,5

кПа (350 мм рт. ст.) при температуре верхних слоев масла, равной 80 °С. Схема контрольной подсушки приведена на рис. 7.3.

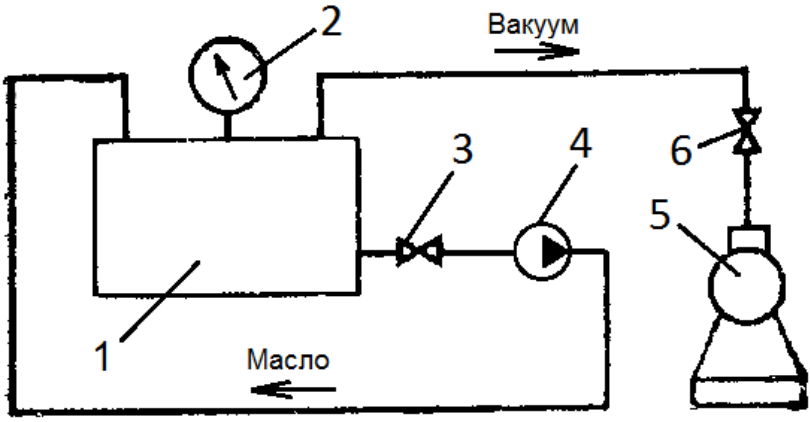


Рис. 7.3 Схема контрольной подсушки:
1 – бак трансформатора; 2 – вакуумметр (измеритель остаточного давления); 3 и 6 – краны; 4 – насос; 5 – вакуумный насос

Контрольная подсушка производится в том случае, если в результате контрольного прогрева характеристики изоляции не соответствуют нормам. В процессе контрольной подсушки через каждые 12 ч производят циркуляцию масла через трансформатор в течение 4 ч. Подсушку прекращают, когда характеристики изоляции приходят в соответствие с нормами, но не ранее чем через 36 ч после того, как температура верхних слоев масла достигла 80 °С для трансформаторов мощностью до 80000 кВ·А.

Если в результате контрольной подсушки трансформатора в масла характеристики изоляции не будут соответствовать нормам, то трансформатор подлежит сушке.

Сушка вакуумным и безвакуумным способами

Сушка активной части при наличии стационарных сушильных печей, которые имеются на всех крупных электроремонтных предприятиях, может производиться как вакуумным, так и безвакуумным методами.

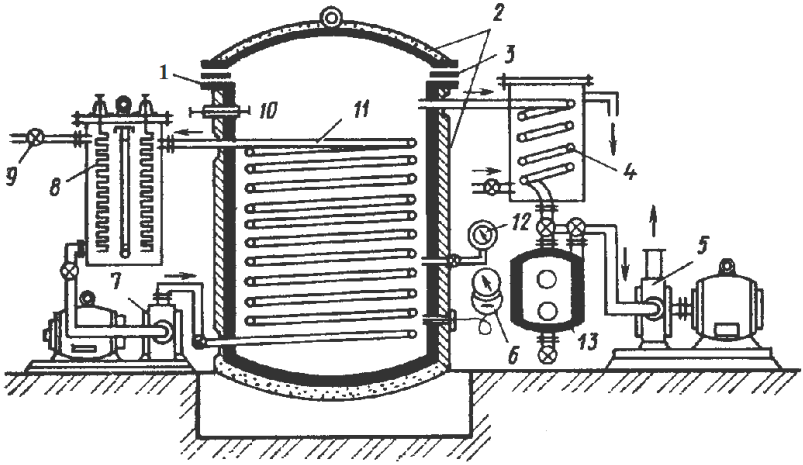


Рис. 7.4 Вакуум-сушильная печь для сушки активных частей трансформаторов I–II габаритов: 1 – бак со съемной крышкой; 2 – теплоизоляция; 3 – уплотнение; 4 – водяной охладитель (конденсатор); 5 – вакуумный насос; 6 – термометр; 7 – циркуляционный насос; 8 – водяной котел с электронагревателями 2×10 кВт; 9 – питательная труба; 10 – проходной изолятор для измерения сопротивления изоляции; 11 – змеевик нагрева; 12 – вакуумметр; 13 – конденсатосборник

Сушка вакуумным методом осуществляется в вакуум-сушильных шкафах и обеспечивает быструю и высококачественную сушку с небольшими энергетическими затратами. Наиболее экономичным является паровой обогрев, менее экономичен электрообогрев. Вакуум-сушильная печь для сушки трансформаторов I–II габаритов показана на рис. 7.4.

Применяются печи, как с верхней, так и с боковой загрузкой с герметично закрывающимися дверями.

Активную часть трансформатора загружают в печь. Предварительно для контроля сушки концы обмоток соединяют между собой проводником и выводят наружу через проходной изолятор. Сушку начинают с прогрева при вакууме 80 – 85 кПа, постепенно увеличивая температуру до 95 – 105 °С. Прогрев трансформаторов мощностью до 100 кВ·А длится в течение 3-х ч, а большей мощностью – 5 ч. По окончании прогрева вакуум равномерно повышают и в течение 15 мин. устанавливают остаточное давление около 40 кПа, которое выдерживают 1 ч.

Затем в течение 15 мин. вакуум повышают до максимально возможного и сушку производят до конца.

В процессе сушки влагу из колонки конденсатора отбирают каждый час, ее количество и значение сопротивления изоляции записывают в журнал сушки. Когда в течение 3 ч подряд (по трем измерениям) выделения влаги из колонки не будет, а показания мегомметра будут соответствовать нормам, обогрев отключают (закрывают пар), останавливают вакуум-насосы, вакуум постепенно снимают краном для впуска воздуха, печь разгерметизируют.

Очень эффективным с точки зрения дальнейшей эксплуатации является непосредственная заливка активной части маслом в печи. В этом случае масло заполняет поры изоляции, которые прежде были заняты влагой.

Продолжительность вакуумной сушки зависит от степени увлажненности изоляции обмоток, емкости печи, мощности вакуумных насосов и герметичности уплотнений. Она должна продолжаться не менее 14 ч. Характерный график вакуумной сушки представлен на рис. 7.5.

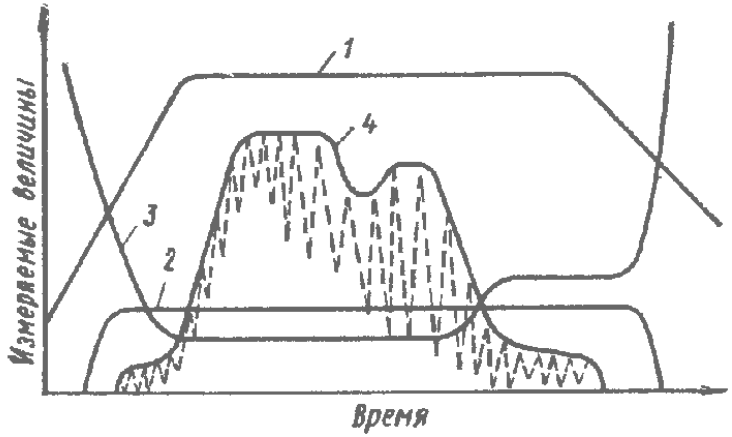


Рис. 7.5. Кривые сушки изоляции обмоток трансформатора:
1 – температура обмоток; 2 – вакуум; 3 – сопротивление изоляции;
4 – огибающая кривая выделения конденсата

Достоинствами вакуумной сушки являются быстрота, высокое качество и стабильная технология, а недостатками –

необходимость постоянно поддерживать в исправном состоянии сложное и дорогостоящее оборудование и в связи с этим высокие эксплуатационные расходы (в сушильном отделении должно быть организовано круглосуточное дежурство); необходимость поддержания очень глубокого вакуума, который трудно поддерживать, так как уплотнения печи изнашиваются быстро, а замена их сложна и дорога.

Безвакуумная сушка осуществляется в стационарных тупиковых печах с электрическим, паровым, индукционным или калориферным подогревом. Активную часть трансформатора загружают на тележку, вкатывают в печь, печь закрывают и включают обогрев. Сушка ведется естественно дольше, чем в вакуумной печи.

Критерии окончания сушки одни - сопротивление изоляции, соответствующее нормам, должно иметь установившееся значение в течение 3–4 ч. Измеряют сопротивление изоляции на трех изоляционных участках; обмотки ВН по отношению к обмоткам НН, присоединенным к корпусу; обмотки НН по отношению к обмоткам ВН, присоединенным к корпусу; соединенных между собой обмоток ВН и НН по отношению к корпусу. Для возможных замеров все выводные концы обмоток ВН соединяют между собой, концы обмоток НН также соединяют между собой. От этих соединений, а также от ярмовых балок (корпуса) выводят наружу провода.

При безвакуумном методе сушки не требуются уплотнения, а используются электрическая и тепловая изоляция выводных проводов от горячих металлических частей печи. Контроль температуры в печи осуществляется термопарами или другими термодатчиками. Для ускорения процесса сушки ближе к ее окончанию рекомендуется проводить одну-две 20-минутные продувки печи теплым или окружающим сухим воздухом для удаления скопившихся в ней паров. При калориферном обогреве печей этого не требуется, так как в печи воздух постоянно циркулирует.

Сушка активной части в баке токами нулевой последовательности

Этот метод заключается в том, что к одной из обмоток трехфазного трансформатора подводят пониженное однофазное переменное напряжение и обмотки соединяют так, чтобы возбуждаемые в стержнях магнитные потоки имели одинаковые значения и направления во всех стержнях. Замыкаясь через воздух, металлические детали и бак, они вызывают в них потери от вихревых токов, чем и создается нагрев.

При этом способе сушки, как и при индукционном методе, теплота идет от металлических частей через бумажную изоляцию к проводам, поэтому способ неэкономичен.

Для трансформаторов I–II габаритов со схемой соединения «звезда – звезда» и номинальными напряжениями 6300/230 В напряжение, подводимое к обмотке НН:

$$U = \frac{200}{\sqrt{P_{ном}}}, \text{ В} \qquad (7.12)$$

где $P_{НОМ}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А.

Необходимость подбора напряжения при других схемах соединения обмоток опытным путем, а также необходимость распайки обмоток при соединении одной из обмоток в треугольник или зигзаг — серьезные недостатки метода. Поэтому область применения его крайне ограничена.

Сушка методом индукционных потерь в стали бака

При отсутствии печей сушку производят методом индукционных потерь в стали бака трансформатора.

Сушка методом индукционных потерь в стали бака - самый распространенный способ сушки активных частей трансформаторов.

Бак трансформатора утепляют, обматывают намагничивающей обмоткой. Она может быть однофазной (что вполне достаточно для трансформаторов I–II габаритов) или трехфазной. К обмотке подключают источник переменного тока

от силовой сборки 220 или 380/220 В через двух- или трехполюсной автомат или рубильник.

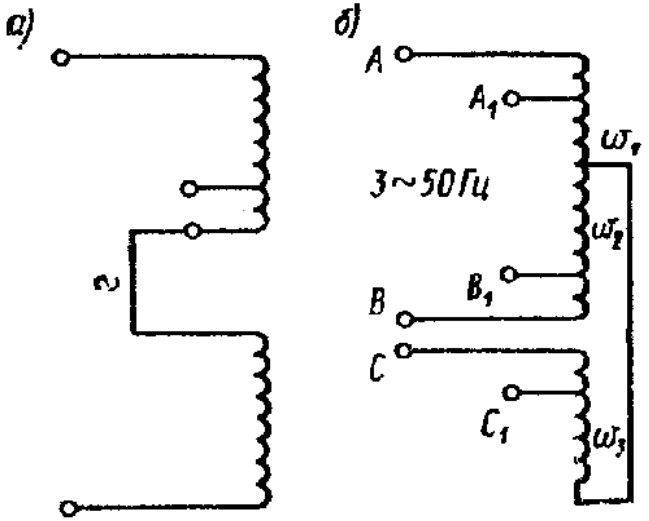


Рис 7.6. Схема намагничивающей обмотки:
а) схема однофазной обмотки; б) схема трехфазной обмотки, соединенной в звезду

При прохождении тока по обмотке в стальных стенках бака возбуждается магнитный поток, который, замыкаясь по периметру бака, вызывает в нем вихревые токи, нагревающие бак. Теплота от бака передается активной части.

Предварительными расчетами по эмпирическим формулам определяют количество витков намагничивающей обмотки, а при сушке в зависимости от фактической температуры изменяют количество витков. Для этого намагничивающая обмотка может быть выполнена с одним-двумя регулировочными ответвлениями (рис. 7.6).

Сушку активной части можно производить как с маслом, так и без масла, и в зависимости от этого механизм сушки действует по-разному. Масло является теплоносителем и одновременно гигроскопичной средой, отбирающей влагу из изоляции. В масле целесообразно сушить активную часть с промасленными обмотками, т.е. при ремонте без замены обмоток. Новые обмотки сушат без масла. Для ускорения сушки

предусматривают принудительную циркуляцию воздуха в полости бака, для чего на одном из отверстий в крышке бака устанавливают вытяжной вентилятор, включаемый периодически.

Температуру изоляции на разных высотах обмоток, верхнего и нижнего ярма, стенки бака и воздуха в верхней части бака контролируют термопарами. Температура изоляции поддерживается в пределах 95 – 105 °С, а стенок бака в пределах 110 – 130 °С.

В начале сушки, после того как температура обмоток достигнет 85 – 100 °С, в баке создают вакуум 200 мм рт. ст. (27 кПа) для удаления паров из бака. В дальнейшем вакуум уменьшают и к окончанию сушки доводят до предельно допустимого для дайной конструкции. Обычный диапазон рабочего вакуума 40 – 50 кПа.

В процессе сушки измеряются температуры и сопротивления изоляции. В начале сушки измерения проводят каждые 4 ч, а к окончанию сушки — каждый час. Параметры записывают в журнал сушки.

Сушка заканчивается, когда установившееся значение сопротивления изоляции, соответствующее нормам, продолжает оставаться неизменным в течение 6 ч. После этого отключают индукционную обмотку, дают остыть активной части до 60 – 70 °С, уплотняют все отверстия нижней части бака, и заливают активную часть в баке сухим трансформаторным маслом.

Расчет параметров индукционной обмотки ведут следующим образом. Мощность индукционной обмотки нагрева:

$$P_{ОБ} = \Delta p \cdot l \cdot h \text{ , кВт} \qquad (7.13)$$

где Δp – удельный расход мощности, кВт/м^2, определяемый по табл. 7.1;

l – периметр бака, м;

h – высота бака, м.

Таблица 7.1.

Удельный расход мощности для прогрева трансформатора

Периметр бака трансформатора *l*, м	Удельный расход мощности Δ*p*, кВт/м
До 10	До 1,9
От 11 до 15	От 2 до 2,8
От 16 до 20	От 2,9 до 3,6
От 21 до 26	От 3,7 до 4

Число витков намагничивающей обмотки при питании однофазным током частотой 50 Гц:

$$W = A \cdot U \cdot l \qquad (7.14)$$

где A – коэффициент, зависящий от удельного расхода мощности, определяемый по табл. 7.2;

U – напряжение питания обмотки намагничивания. В;

l – периметр бака трансформатора, м.

Таблица 7.2.

Значения коэффициентов A

Удельный расход мощности Δ*p*, кВт/м	*A*	Удельный расход мощности Δ*p*, кВт/м	*A*	Удельный расход мощности Δ*p*, кВт/м	*A*
0,75	2,33	1,35	1,77	2,4	1,44
0,8	2,26	1,4	1,74	2,5	1,42
0,85	2,18	1,45	1,71	2,6	1,41
0,9	2,12	1,5	1,68	2,7	1,39
0,95	2,07	1,6	1,65	2,8	1,38
1,0	2,02	1,7	1,62	2,9	1,36
1,05	1,97	1,8	1,59	3,0	1,34
1,1	1,92	1,9	1,56	3,25	1,31
1,15	1.88	2,0	1,54	3,5	1,28
1,2	1,84	2,1	1,51	3,75	1,25
1,25	1,81	2,2	1,49	4,0	1,22
1,3	1,79	2,3	1,46	–	–

Ток в обмотке:

$$I = \frac{P_{ОБ} \cdot 10^3}{U \cdot \cos\varphi}, \text{ А} \qquad (7.15)$$

где $P_{об}$ – мощность обмотки нагрева бака, кВт;

U – напряжение питания, В;

$cos\ \varphi$ = 0,5…0,6.

Сечение провода намагничивающей обмотки, мм^2:

$$S = \frac{I}{j},\ \text{мм}^2 \qquad (7.16)$$

где I – ток в обмотке, А;

j – допустимая плотность тока, А/мм^2

Для медных неизолированных проводов j = 6 А/мм^2, для медных изолированных проводов j = 3…3,5 А/мм^2; для алюминиевых неизолированных проводов j = 5 А/мм^2, для алюминиевых изолированных проводов j = 2…2,5 А/мм^2.

3. Правила проверки и подготовки бака трансформатора перед сушкой

Герметичность бака проверяют созданием в нем вакуума 350 мм рт. ст. (47 кПа) и поддержанием его в течение 1 ч. Если натекание за 1 ч не превышает 20 мм рт. ст. (2,7 кПа), бак считают герметичным.

Утепление бака производят асбестовым полотном в 2–3 слоя в зависимости от толщины полотна. Толщина теплоизоляции стенок должна быть 10 – 15 мм, а крышки бака 15 – 20 мм. Намотка витков однофазной обмотки ведется в одну сторону, причем неравномерно; к середине обмотка наматывается реже, а к дну бака и к крышке шаг намотки уменьшается. В нижней части бака накладывается 50 – 60 % намагничивающей обмотки.

Внутренняя часть бака должна быть насухо вытерта. Зажим для заземления соединяют перемычкой к заземляющему контуру.

4. Порядок выполнения работы

1) Протереть бак насухо.

2) Установить внутри бака на активную часть термоэлектрические термометры или термометры сопротивления. Дополнительно можно установить ртутные термометры со шкалой 150 °С в нескольких верхних точках бака по периметру трансформатора.

3) Подсоединить к вводам провода для измерения сопротивления изоляции (сопротивления изоляции до 100 МОм измеряют мегомметром на 1000 В, более 100 МОм – на 2500 В.

4) Собрать схему вакуумирования.

5) Утеплить бак.

6) Рассчитать сечение и количество витков намагничивающей обмотки и произвести намотку на утепленный бак.

7) Проверить герметичность бака.

8) Подключить намагничивающую обмотку к сети и вакуум-насосу и следить за равномерным подъемом температуры. После того как температура достигнет 85 – 100 °С, в баке создается вакуум 150 – 200 мм рт. ст. (20 – 27 кПа), который затем равномерно повышается на 5 мм рт. ст. в течение каждого часа. Сушку производить при температуре обмоток 95 – 100 °С, а бака 115 – 120 °С. Регулировать температуру обмоток включением или выключением обмотки намагничивания.

Если окажется, что количество теплоты недостаточно для сушки, то необходимо уменьшить число витков.

9) Сопротивление изоляции, температуру и величину вакуума измерять каждые полчаса и данные замеров заносить в табл. 7.3.

Таблица 7.3.

Данные сушки трансформатора

№ п/п	Сопротивление изоляции, МОм	Температура, °*С*	Вакуум, *р,* мм рт. ст.	Время, мин

10) По данным табл. 7.3 построить кривые изменения температуры, сопротивления изоляции и вакуума (см. рис. 7.5).

11) Сушку считать законченной и отключить нагрев бака, если в течение 6 ч показания мегомметра будут оставаться неизменными.

5. Содержание отчета

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

1) Кратко законспектировать методы сушки трансформаторов.

2) Расчеты сечения и количества витков намагничивающей намотки

3) Таблица 7.3. с данными проведенных измерений

4) График с кривыми изменения температуры, сопротивления изоляции и вакуума

5) Сделать выводы о проделанной лабораторной работе

6. Контрольные вопросы

1) Для чего выполняют сушку обмоток трансформаторов?

2) В чем сущность различных методов сушки, их достоинства и недостатки.

3) В каких случаях применяют различные виды сушки обмоток?

4) В каких случаях запрещается производить контрольный прогрев обмоток методами постоянного тока и короткого замыкания?

Лабораторная работа №8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: научиться определять температуру обмоток трехфазного асинхронного двигателя.

1. Теоретические сведения

Испытания на нагревание производят для определения абсолютной температуры или превышения температуры обмотки или частей электродвигателя относительно температуры охлаждающей среды при номинальной нагрузке.

Электроизоляционные материалы, применяемые в электрических машинах, стареют и постоянно теряют электрическую и механическую прочность. Скорость этого старения зависит главным образом от температуры.

Установлено, что долговечность изоляции сокращается вдвое, если температура, при которой она работает, на 6…8 °С превышает предельную температуру для данного класса нагревостойкости.

ГОСТ устанавливает следующие классы нагревостойкости электроизоляционных материалов, представленные в таблице 8.1.

Таблица 8.1.

Классы нагревостойкости электроизоляционных материалов

Класс нагревостойкости	Y	A	E	B	F	H	C
Предельная температура, °С	90	105	120	130	155	180	>180

При испытаниях на нагревание определяют не только абсолютную температуру, но и превышение температуры обмоток над температурой окружающей среды (табл.8.2).

Таблица 8.2.

Предельно допустимые превышения температур частей двигателя

Части двигателя	Предельно допустимые превышения температуры, °С, при изоляционных материалах класса нагревостойкости					Метод измерения температуры
	A	E	B	F	H	
Обмотки переменного тока двигателей 5000 кВ·А и выше или с длиной сердечника 1 м и более	60	70	80	100	125	Сопротивления или температурных индикаторов, уложенных в пазы
То же, но менее 5000 кВ·А или длиной сердечника менее 1 м	50*	65*	70**	85**	105***	Термометра или сопротивления. Данные приведены для измерения методом термометра.
Стержневые обмотки роторов асинхронных двигателей	65	80	90	110	135	Термометра или сопротивления
Контактные кольца	60	70	80	90	110	Термометра или температурных индикаторов, уложенных в пазы
Сердечника и другие стальные части, соприкасающиеся с обмотками	60	75	80	110	125	Термометра
То же, не соприкасающиеся с обмотками	Превышение температуры лих частей не должно превышать значений, которые создавали бы опасность повреждения изоляционных или других смежных материалов					
* – при измерении методом сопротивления допускаемая температура увеличивается на 10 °С; ** – то же, на 15 °С; *** – то же, на 20 °С.						

ГОСТ предусматривает различные методы измерения температур в зависимости от конкретных условий.

Метод термометра

Определяется температура поверхности в точке приложения. Применяют как ртутные, так и спиртовые термометры. Вблизи сильных электромагнитных полей следует применять только спиртовые термометры. Для улучшения передачи теплоты от узла к термометру резервуару термометра обволакивают фольгой, а затем прижимают к нагретому узлу, покрывая слоем ваты или войлока.

За температуру окружающей среды принимают среднее арифметическое значение показателей нескольких термометров.

Метод термопары

Применяется для измерения температур в основном в машинах переменного тока. Термопары укладываются в пазы между слоями обмоток и на дно пазов.

Термопару образуют две изолированные друг от друга проволоки из различных материалов. Для измерения температур в электрических машинах применяют медно-константановые термопары.

Метод сопротивления

Метод основан на свойстве проводников изменять свое сопротивление под воздействием тока, т.е. под влиянием температуры [4].

Для определения превышения температуры, производят измерения сопротивления в холодном и нагретом состоянии по формулам:

а) для меди:

$$\Delta T = \frac{R_Г - R_X}{R_X}(235 + T_X) + (T_X - T_0) \quad (8.1)$$

б) для алюминия:

$$\Delta T = \frac{R_Г - R_X}{R_X}(245 + T_X) + (T_X - T_0) \quad (8.2)$$

где ΔT – превышение температуры обмотки, °С;

T_X и R_X – температура и сопротивление в холодном состоянии, °С и Ом ;

$T_Г$ и $R_Г$ – температура и сопротивление в нагретом состоянии, °С и Ом.

T_0 – температура охлаждающей среды, °С.

Для правильного определения температуры обмоток в момент отключения, т.е. в рабочем состоянии двигателя, поступают следующим образом: после отключения машины через равные промежутки времени производят измерения и строят зависимость $R = f(t)$ (рис. 8.1).

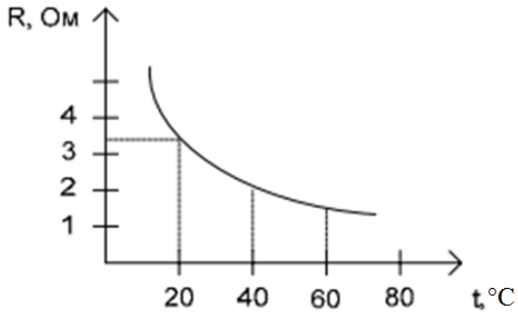


Рис. 8.1. График изменения сопротивления обмоток при остывании

Метод амперметра - вольтметра

Первое измерение сопротивления обмотки производят не позднее чем через 1 минуту от момента отключения для машин мощностью до 10 кВт, через 1,5 мин. – для машин мощностью 10 – 100 кВт и через две минуты – для машин мощностью выше 100 кВт.

Отрезок от оси ординат с достаточной точностью определит искомое сопротивление обмотки двигателя в горячем состоянии.

2. Методика выполнения измерений

Если температура охлаждающей среды 40…45 °С, то предельно допустимые превышения температуры, указанные в таблице 8.2 снижаются для всех классов изоляционных

материалов на 5 °С, а при температурах охлаждающей среды обычно применяют температуру окружающей среды 45…50 °С на 10 °С. За температуру охлаждающей среды обычно принимают температуру окружающего воздуха.

Для закрытых машин напряжением не более 1500 В предельно допустимые превышения температуры обмоток статора электродвигателей мощностью менее 5 кВт или с длиной сердечника менее 1 м, а также стержневой обмоток роторов при измерении температур методом сопротивления допускается повышать на 5 °С.

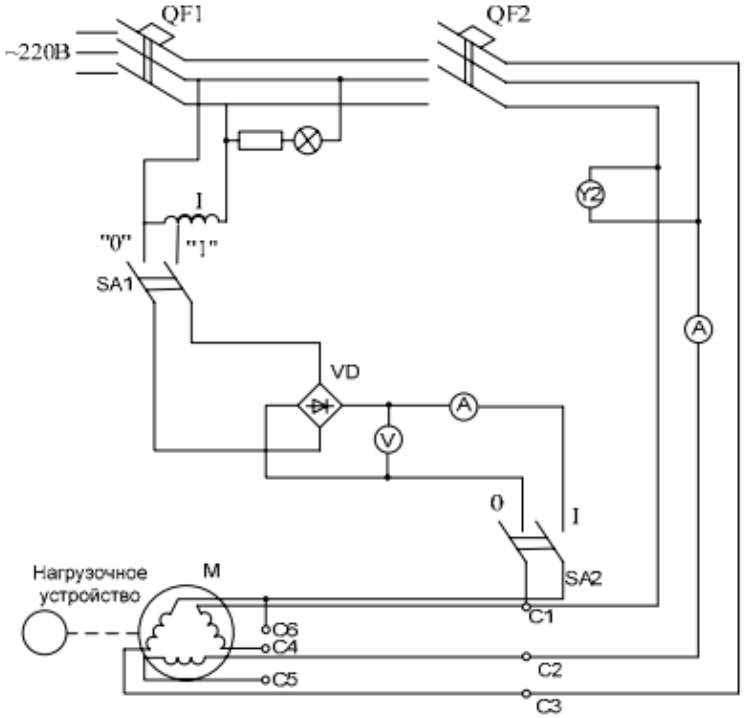


Рис. 8.2. Электрическая схема для проведения лабораторной работы

При измерении температуры обмоток по способу замера их сопротивления определяется их средняя температура обмоток. В действительности же при работе двигателя отдельные зоны обмоток, как правило, имеют разную температуру. Поэтому максимальная температура обмоток,

определяющая долговечность изделий, всегда немного превышает среднее значение.

Включение двигателя на измерительную схему следует производить только после полной остановки ротора, в противном случае измерительные приборы могут быть повреждены индукционным током. Для получения правильного результата измерений необходимо пользоваться одними и теми же приборами как при измерении сопротивлений обмоток в холодном и горячем состояниях.

Работа проводится по схеме, изображенной на рисунке 8.2.

3. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему, приведенную на рисунке 8.2.

2) Установить рукоятку ЛАТР в нуль.

3) Установить перемычки С2-С4 и С3-С5.

4) Включить автомат QF при этом загорается сигнальная лампочка HL, свидетельствующие о наличии напряжения в схеме.

5) Установить переключатель SA2 в положение I.

6) С помощью рукоятки ЛАТР установить на вольтметре PV_1 напряжение U_1, при котором показания амперметра PA = I_1 не превысят 20% от номинального тока двигателя.

7) Установить переключатель SA2 в положение I и записать показания $PV_1 = U_{1X}$ и $PA_1 = I_{1x}$.

8) Подсчитать омическое сопротивление обмотки электродвигателя в холодном состоянии:

$$R_X = \frac{U_{1X}}{I_{1X}}, \text{ Ом} \qquad (8.3)$$

9) Предположив, что все фазы имеют одинаковое сопротивление определим сопротивление одной фазы обмотки исходя из их последовательного сопротивления:

$$R_{X\varphi} = \frac{R_X}{3}, \text{ Ом} \qquad (8.4)$$

10) Установить переключатели SA1 и SA2 в положение 0.

11) Установить перемычку С1–С6.

12) Включить автомат, QF2.

13) Рукояткой нагрузочного устройства нагрузить двигатель до $I_{НОМ}$. Прогрев обмоток продолжать 10 – 15 минут, регулируя постоянство показаний амперметра нагрузочным устройством.

14) Выключить автомат QF2 и дождаться полной остановки двигателя.

15) Снять перемычку С1-С6.

16) Установить SA1 и SA2 в положение I, снять показания PV_1 и PA_1 не позднее чем через 20 с. После обстановки двигателя.

17) Определить сопротивление обмотки в горячем состоянии:

$$R_Г = \frac{U_{1Г}}{I_{1Г}}, \text{ Ом} \qquad (8.5)$$

18) Предполагая, что все обмотки нагреты одинаково, и учитывая их последовательное соединение, определить сопротивление одной фазы:

$$R_{Г\varphi} = \frac{R_Г}{3} \qquad (8.6)$$

19) Рассчитать превышение температуры обмоток над температурой охлаждающей среды, приняв температуру обмоток в холодном состоянии равной температуре окружающей среды.

20) Подсчитать абсолютную температуру обмоток и сделать вывод об исправности двигателя:

$$T_{АБС} = \Delta T + T_0, \text{ °C} \qquad (8.7)$$

4. Содержание отчета

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

1) Законспектировать описание методов измерения

температуры обмоток электродвигателя

2) Рисунок схемы для проведения измерений

3) Опытные и расчетные данные с расчетами.

4) Выводы по выполненной работе

5. Контрольные вопросы

1) С какой целью проводят испытания обмоток электродвигателей на нагревание?

2) В чем сущность метода термометра?

3) В чем сущность метода термопар?

4) В чем сущность метода сопротивления?

5) Что такое нагревостойкость изоляции?

6) Какие классы изоляции применяются для обмоток электрических машин?

Лабораторная работа №9

ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ МЕЖДУВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: научиться проводить испытания электрической прочности междувитковой изоляции обмоток.

1. Теоретические сведения

В обмотках двигателей переменного тока замыкание между витками является одним из самых серьезных дефектов, обычно приводящих к выходу двигателя из строя.

По наружному осмотру обычно невозможно распознать, имеются ли в катушках короткозамкнутые витки. Если число короткозамкнутых витков невелико, то это нельзя обнаружить измерением сопротивления при постоянном токе, так как такое замыкание мало отражается на значении сопротивления всей

фазы. Изменение сопротивления фазы в этом случае может находиться в пределах допуска на отклонение значения сопротивления между фазами обмотки. Однако при включении двигателя под нагрузку короткозамкнутые витки будут вести себя как замкнутая накоротко вторичная обмотка трансформатора с малым сопротивлением. Вследствие относительно большого значения проходящего тока перегревается как сама обмотка, так и изоляция дефектных и прилегающих к ним витков.

Испытание витков изоляции предусмотрено ГОСТ 183–74 для собранных двигателей и производится после испытания на повышенную частоту вращения (если это испытание должно производиться). К обмоткам двигателя подводится напряжение, на 30 % превышающее номинальное напряжение двигателя, и выдерживается 3 мин: у двигателей с фазным ротором — при разомкнутой обмотке ротора: у двигателей с короткозамкнутым ротором – при холостом ходе.

Если при напряжении 130 % от номинального ток холостого хода превышает номинальный, то длительность испытаний снижают до 1 мин.

У двигателей с разомкнутым и неподвижным фазным ротором при подведении к обмотке статора трехфазного напряжения испытывают одновременно междувитковую изоляцию обмоток статора и ротора. Однако у некоторых двигателей с фазным ротором и малым числом полюсов при таком испытании потребляемый ток намного превосходит номинальное значение, что вызывает опасное повышение температуры обмотки статора, бандажей и т. д. У таких машин допускается раздельное испытание междувитковой изоляции обмотки статора и ротона. Сначала производят испытания для обмотки статора при замкнутом накоротко и вращающемся роторе повышением подведенного напряжения к обмотке статора до 130 % от номинального, а затем – для обмотки ротора (при разомкнутой обмотке ротора и вращении с номинальной частотой посторонним двигателем против направления вращения поля статора) подведением к обмотке статора

напряжения, равного 65 % от номинального. При таком испытании наведенное в обмотке ротора напряжение будет составлять 130 % номинального.

Для уменьшения тока холостого хода при испытании междувитковой изоляции обмоток допускается одновременно с повышением напряжения на 30 % повышать и частоту питающего тока. Если испытание производят на вращающейся электрической машине, то повышение частоты не должно быть более чем на 15 %.

2. Методика выполнения испытаний

При проведении лабораторной работы следует использовать двигатели со всыпными обмотками. У крупных электрических машин с жесткими катушками при эксплуатации могут возникать значительно более высокие перенапряжения. Рекомендуемое ГОСТ 183–74 испытание для таких двигателей не гарантирует надежность двигателя. Для таких двигателей обмотки до укладки в пазы испытываются импульсным напряжением высокой частоты (10 – 100 кГц) на основании ПТЭ.

Для испытания двигателей с номинальным напряжением до 110 – 127 В в качестве источника, повышающего напряжение, достаточно использовать лабораторный автотрансформатор. В случае проведения испытаний двигателей с номинальным напряжением 220 В необходим также повышающий трансформатор с номинальным напряжением первичной обмотки 220 В и коэффициентом трансформации 1,5.

Мощность лабораторного автотрансформатора или регулятора напряжения, а также трансформатора, питающего двигатели, зависит от количества и мощности испытываемых двигателей. О значении тока при испытаниях можно судить по показаниям амперметра в цепи обмотки двигателя.

В целях безопасного обслуживания стенда в схему могут быть введены блок-контакты в цепь вторичной обмотки трансформатора, которые включают цепь повышенного

напряжения только в том случае, если двигатели ограждены от оператора специальной стеклянной дверцей.

Схема для проведения испытаний междувитковой изоляции двигателей постоянного тока отличается лишь введением выпрямительного блока во вторичную обмотку повышающего трансформатора.

Испытания проводятся по схеме, изображенной на рис. 9.1.

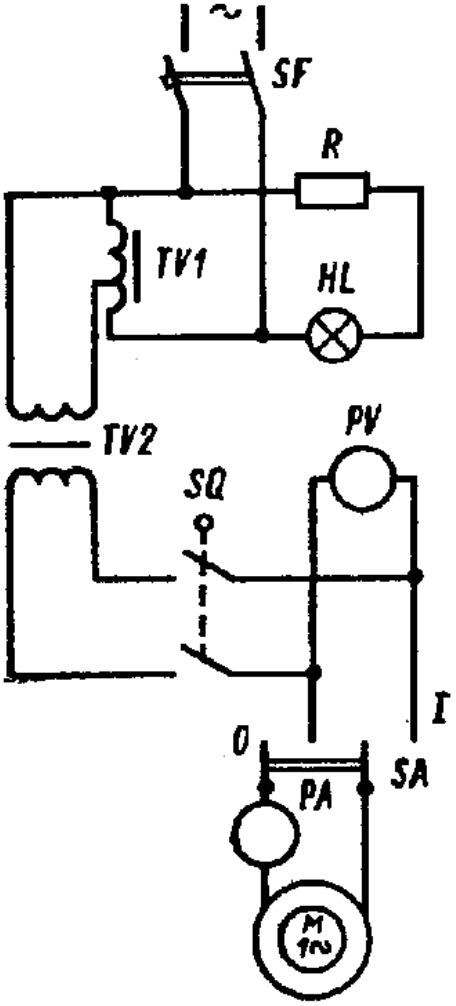


Рис. 9.1. Электрическая схема для проведения лабораторной работы

3. Порядок выполнения работы

1) Снять номинальные данные испытуемого двигателя - мощность $P_{НОМ}$ и силу тока $I_{НОМ}$.

Если отсутствуют данные $I_{НОМ}$, то рассчитать его по формуле:

$$I = \frac{P_{НОМ\ Г}}{U_{НОМ} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \text{ А} \qquad (9.1)$$

2) Найти значение испытательного напряжения:

$$U_{ИСП} = \frac{130}{100} U_{НОМ}, \text{ В} \qquad (9.2)$$

3) Собрать схему, изображенную на рис. 9.1.

4) Убедиться, что рукоятка автотрансформатора TV1 выведена до отказа.

5) Закрыть стеклянную крышку стенда, замкнув конечный выключатель SQ.

6) Включить автомат SF. О наличии напряжения свидетельствует загоревшаяся лампа HL.

7) Включить переключатель SA, установив его в положение I.

8) Плавным вращением рукоятки лабораторного автотрансформатора TV1 установить на вольтметре PV напряжение, равное $U_{ИСП}$.

9) Если $I_{УСТ} = I_{НОМ}$, то испытания проводить 3 мин. Если $I_{УСТ} > I_{НОМ}$, то испытания проводить 1 мин.

4. Содержание отчета

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

1) Требования при испытании изоляции обмоток

2) Рисунок схемы для проведения испытаний

3) Опытные и расчетные данные с расчетами.

4) Выводы о пригодности междувитковой изоляции.

5. Контрольные вопросы

1) Какую цель преследуют испытания электрической прочности между витковой изоляции?

2) Каким образом при проведении испытаний можно убедиться в наличии междувитковых замыканий?

3) Чем отличаются испытания двигателей с короткозамкнутым ротором от испытаний двигателей с фазным ротором?

4) Какое время испытаний устанавливает ГОСТ в зависимости от тока холостого хода?

Лабораторная работа №10

СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

1. Теоретические сведения

Маркировка концов обмотки статора трехфазных асинхронных электродвигателей по ГОСТ 183-74 и ГОСТ 26772-85 приведены в таблице 10.1.

Таблица 10.1.

Маркировка концов обмоток статора трехфазных асинхронных двигателей

Схема соединений обмотки	Число выводов	Обозначение вывода			
		ГОСТ 183–74		ГОСТ26772–85	
		начало	конец	начало	конец
Открытая схема	6	C1	C4	U1	U2
		C2	C5	V1	V2
		C3	C6	W1	W2
Соединение звездой	3 или 4	C1	–	U	–
		C2	–	V	–
		C3	–	W	–
		0	–	N	–

Продолжение табл. 10.1

Схема соединений обмотки	Число выводов	Обозначение вывода			
		ГОСТ 183–74		ГОСТ26772–85	
		начало	конец	начало	конец
Соединение треугольником	3	C1	–	U	
		C2	–	V	
		C3	–	W	

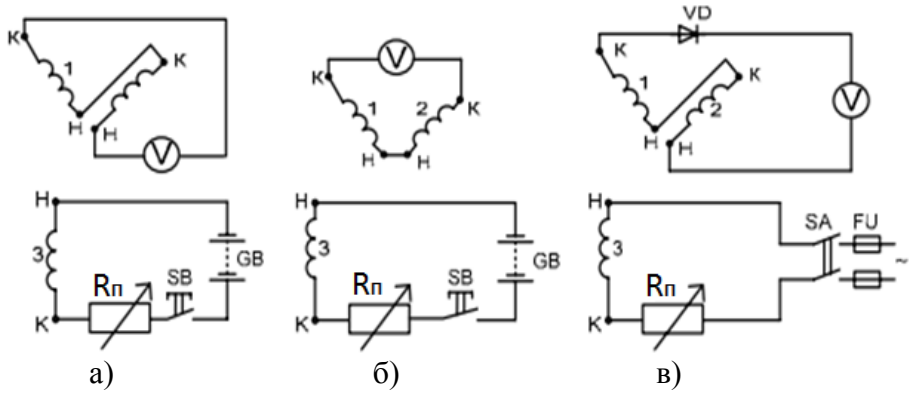
Обозначения выводов обмоток электрических машин наносят непосредственно на кабельных наконечниках, на шинных концах и т.д. В малых электрических машинах, где буквенные обозначения выводов наносить трудно, применяют обозначение выводов, приведенное в таблице 10.2.

Таблица 10.2.

Цветовая маркировка проводов выводов трехфазных асинхронных машин

Схема соединения обмотки	Число выводов	Вид вывода	Цвет вывода	
			Начало	Конец
Открытая схема	6	1-я фаза	Желтый	Желтый с черным
		2-я фаза	Зеленый	Зеленый с черным
		3-я фаза	Красный	Красный с черным
Соединение звездой	3 или 4	1-я фаза	Желтый	–
		2-я фаза	Зеленый	–
		3-я фаза	Красный	–
		Нулевая точка	Черный	–
Соединение треугольником	3	Первый вывод	Желтый	–
		Второй вывод	Зеленый	–
		Третий вывод	Красный	–

При отсутствии обозначений выводов обмоток или при их неправильном соединении и обозначении начала, и концы обмоток могут быть определены индукционным методом по схемам на рисунке 10.1.



а) б) в)

Рис. 10.1. Определение неправильных соединений в обмотке трехфазного статора: *а,б)* на постоянном токе; *в)* на переменном токе

В одну из фаз обмотки рис. 10.1а и 10.1б включается источник постоянного или переменного тока, реостат $R_П$, кнопка SB. Две другие обмотки соединяются последовательно и к ним подключается милливольтметр.

Если оказалось, что обмотки соединены разноименными выводами (начало 1 с концом 2 или конец 1 с началом 2 рис. 10.1а*)*, то при замыкании и размыкании кнопки SB индукционные токи вызовут резкие отклонения стрелки милливольтметра.

Если же обмотки соединены одноименными выводами (начало 1 с началом 2 или конец 1 с концом 2) (рис. 10.1б), то при включении SB стрелка милливольтметра остается неподвижной, т.к. индуктируемые в обмотках 1 и 2 напряжения окажутся приложенными навстречу друг другу и, следовательно, индукционный ток равен нулю.

Затем обмотку, включенную на милливольтметр, заменяют одной из обмоток, включенных под напряжение, и аналогичным способом находят какой ее вывод является одноименным с ранее определенным. После чего производят маркировку обмоток.

На рисунке 10.1*в* приведена аналогичная схема, но с питанием от сети переменного тока. Индуктором служит тот же вольтметр, последовательно с которым включен диод VD.

2. Указания по проведению испытаний

При испытаниях обмоток нельзя допускать их перегрева, поэтому испытывают обмотки при напряжении 10…15 % номинального. Для этого можно использовать как реостат, так и лабораторный автотрансформатор [3].

В качестве индикатора можно использовать вместо милливольтметра обычную лампу накаливания на соответствующее напряжение. Загорание лампы при включении установки свидетельствует о правильном соединении обмоток. Если лампочка не загорается, это свидетельствует о встречном соединении обмоток.

3. Порядок выполнения работы

1) Собрать схему, представленную на рисунке 10.2.

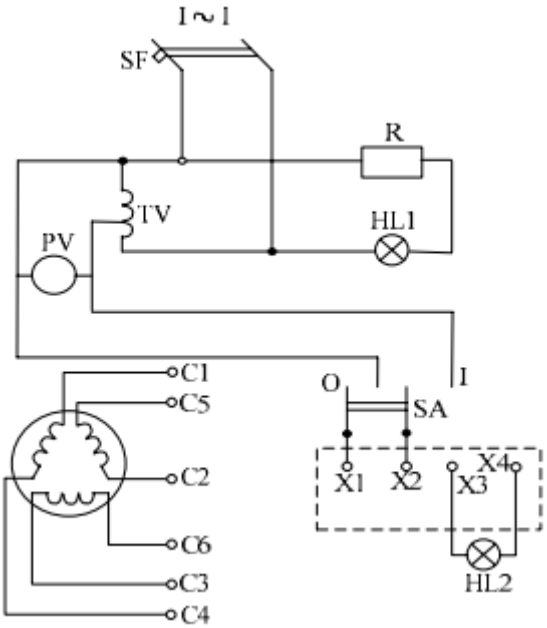


Рис. 10.2. Электрическая схема для проведения лабораторной работы

2) Вывести рукоятку ЛАТР в «нуль», а тумблер SA в положение «0».

3) Установить перемычки С5–С3; С2–Х3; С6–Х4; С1–Х1; С4–Х2.

4) Установить с помощью ЛАТР на вольтметре PV необходимое напряжение (10…15% $U_{НОМ}$).

5) Включить переключатель SA в положение 1. Если при этом загорится лампочка HL2, значит обмотка включена верно.

Повторить пункты 1–5 и произвести маркировку обмоток.

4. Содержание отчета

В отчете должны быть представлены следующие материалы:

1) Таблицы маркировки концов обмоток трехфазных электродвигателей.

2) Рисунки схем для проведения испытаний.

3) Выводы о правильности соединения концов обмоток исследуемого электродвигателя.

5. Контрольные вопросы

1) Назовите схемы соединения обмоток асинхронных электродвигателей.

2) Как маркируются обмотки по старому и новому ГОСТ?

3) В какой цвет окрашиваются выводы проводов 3-х фазных асинхронных двигателей?

Литература

1. Акимова Н.А., Котеленец Н.Ф., Сентюрихин Н.И. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: Учеб. пособие для студ. сред проф. образования. – М.: Академия, 2008. – 304 с.

2. Алексеев А. П., Хавроничев С. В. Монтаж и эксплуатация электроустановок: Лабораторный практикум. – Волгоград: ВолгГТУ, 2006. – 116 с.

3. Нейштадт Е.Т. Лабораторный практикум по предмету Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования предприятий и установок: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1991. – 111 с.

4. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий: Учеб. для нач. проф. образования: Учеб. пособие для сред. проф. образования. – М.: Академия, 2004. – 432 с.

5. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – М: Высшая школа, 2003. – 462 с.

6. Правила устройства электроустановок. – М.: Госэнергонадзор, 2000. – 507 с.

7. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Москва, 2003. – 184 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АППАРАТА АИИ-70М

Аппарат типа АИИ-70М предназначен для испытания кабелей, твердых и жидких диэлектриков переменным или выпрямленным высоким напряжением.

Технические характеристики АИИ-70М приведены в таблице П.1

Таблица П.1

Технические характеристики аппарата АИИ-70М

Наименование параметра	Значение
Напряжение питающей сети однофазного переменного тока, В	127 или 220
Частота питающей сети, Гц	50
Наибольшее вторичное переменное напряжение, кВ	50
Наибольшее вторичное выпрямленное напряжение, кВ	70
Масса аппарата без запасных частей и трансформаторной тары, кг	на более 175

Устройство и принцип работы АИИ-70

Аппарат состоит из передвижного пульта управления на колесах и выпрямителя селенового.

Па лицевой панели пульта управления расположена дверца, на которой находятся предохранители, при помощи которых производится переключение напряжения сети.

Дверца снабжена блок-контактами, обеспечивающими безопасную работу при испытании жидкого диэлектрика. С внутренней стороны дверцы закреплены ключ и шаблон-калибр для установки зазора между электродами в измерительной ячейке. Выпрямитель селеновый выполнен в виде вертикального, заполненного маслом цилиндра.

Сверху выпрямителя селенового в рабочем положении аппарата устанавливают блок микроамперметра с переключателем пределов измерения тока. При транспортировании блок микроамперметра закрепляют на крышке высоковольтного трансформатора внутри пульта управления.

Разрядник заземляющий служит для снятия емкостного заряда с испытуемого объекта и его заземления. Разрядник разъемный, состоит из двух частей.

Конструкция рукоятки переключений пределов измерения тока выполнена на основе изоляционной трубки.

Защитное ограждение выполнено в виде комбинации металлических стержней и изоляционных трубок. Па ограждение вешают флажки предупредительные. Разрядник заземляющий, защитное ограждение, рукоятка переключения пределов измерения тока. Флажки предупредительные при транспортировке аппарата находятся внутри пульта управления.

Работа и взаимодействие элементов электрической схемы аппарата осуществляется следующим образом (см. рис. П.1). Электропитание подводится к аппарату от однофазной сети напряжением 127 или 220 В посредством гибкого кабеля, снабженного штепсельными разъемами, на клеммы дверной блокировки S4F; далее через предохранители FU3 и FU4 подается на регулятор напряжения Т2.

Регулируемое напряжение от Т2 через автоматический выключатель S3 подается на первичную обмотку высоковольтного трансформатора Т1 и конденсатор С2.

Переключатель S2 служит для установки максимальной защиты автоматического выключателя S3 в положение «чувствительная» или «грубая». Высокое напряжение от трансформатора Т1 через ограничительное сопротивление R3 может быть использовано как для испытания переменным напряжением твердых диэлектриков, так и для определения пробивного напряжения жидких диэлектриков. Переменное высокое напряжение выпрямляется посредством селенового выпрямителя VD1.

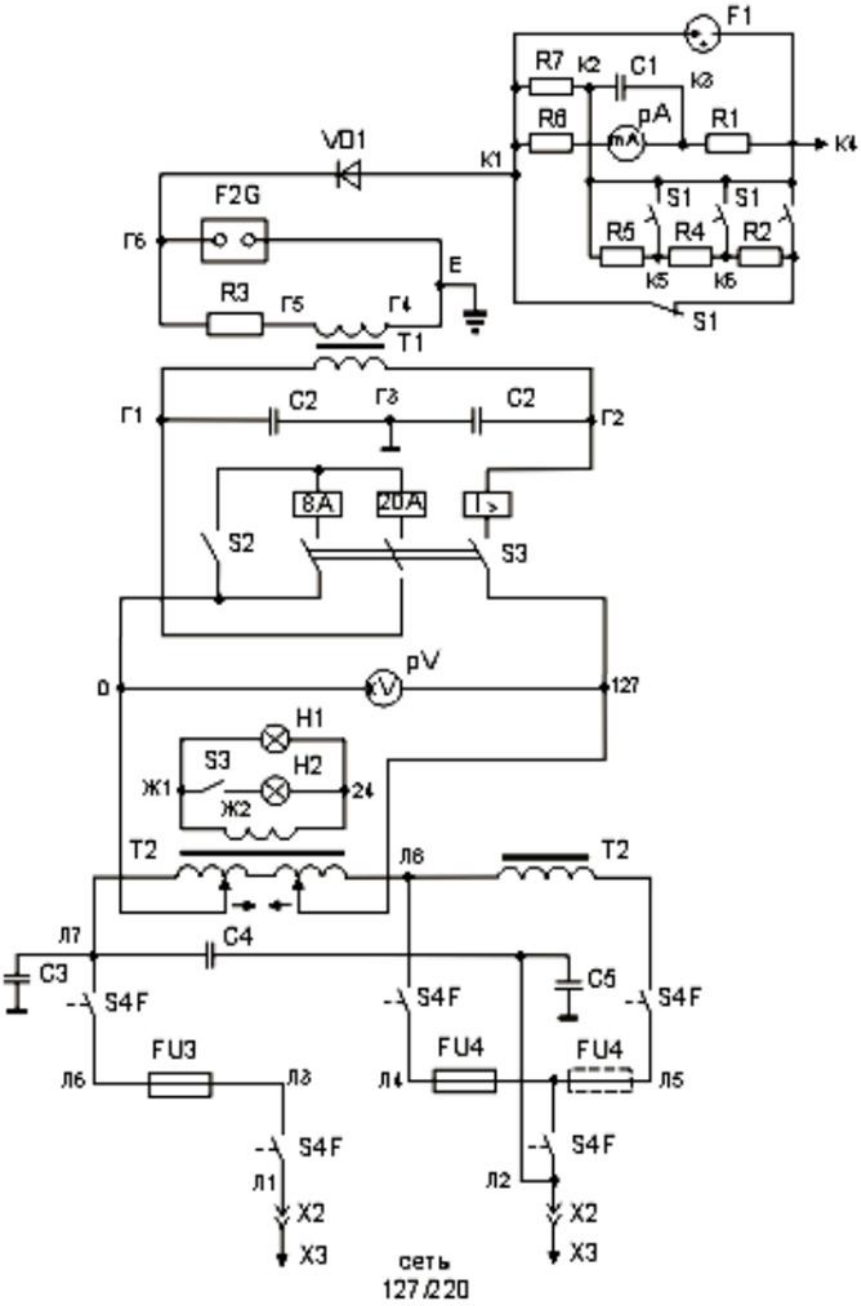


Рис. П.1. Схема электрическая принципиальная аппарата АИИ-70М

Для измерения выпрямленного тока служит микроамперметр с тремя пределами измерения (200, 1000 и 5000 мкА).

Сигнальная лампа Н1 (зеленая) указывает на включение сети, лампа Н2 (красная) на включение высокого напряжения.

Меры безопасности при работе с аппаратом АИИ-70М

Производить испытания необходимо в диэлектрических перчатках, стоя на диэлектрическом коврике. Работать без заземления запрещается.

Перед каждым употреблением заземляющего разрядника необходимо проверить его исправность и отсутствие внешних повреждений, очистить и обтереть от пыли, проверить по штампу, не истек ли срок периодического испытания.

Пользоваться заземляющим разрядником, срок испытаний которого истек, запрещается.

При открытой дверце на лицевой панели пульта управления дверная блокировка должна исключать включение высокого напряжения.

Исправность работы блокировки должна подтверждаться световой сигнализацией:

а) загорание зеленого светового сигнала - подключение к сети;

б) загорание красного светового сигнала - включение высокого напряжения.

Любые переключения как на высоковольтной, так и на низковольтной стороне аппарата следует производить после отключения аппарата от сети при надежном заземлении высоковольтных частей.

Порядок работы с аппаратом АИИ-70М

1) Определение пробивного напряжения жидких диэлектриков на аппарате производится при закрытых дверцах (без селенового выпрямителя) в следующей последовательности:

а) заземлить аппарат;

б) установить рукоятку регулятора напряжения против часовой стрелки до отказа (нулевое положение);

в) проверить, чтобы автоматический выключатель находился в положении «отключение»;

г) рукоятку выключателя «защита» установить в положение «чувствительная»;

д) открыть дверцу аппарата, установить измерительную ячейку с жидким диэлектриком на металлические стойки и снова закрыть дверцу;

е) включить вилку шнура питания, входящего в комплект аппарата в сеть, вставить колодку шнура в вилку аппарата (при этом загорается зеленый сигнал), нажать кнопку «Вкл.» автоматического выключателя (при этом загорается красный сигнал) и плавно вращая рукоятку регулятора напряжения но часовой стрелке, повысить напряжение до пробоя (отсчет вести но шкале кило вольтметра, отградуированной в киловольтах эффективных);

ж) установить рукоятку регулятора напряжения в нулевое положение, отключить колодку шнура питания, открыть дверцу и осторожно перемешать при помощи стеклянной палочки жидкость между электродами для удаления продуктов разложения из межэлектродного пространства, не допуская при этом образования воздушных пузырьков;

з) метод отбора пробы жидкого диэлектрика, подготовка измерительной ячейки, подготовка пробы, обработка результатов испытания, оформление протокола испытания, должны производиться в соответствии с требованиями паспорта аппарата АИИ-70М.

2) Испытание кабеля выпрямленным напряжением производится в следующей последовательности:

а) заземлить аппарат и разрядник заземляющий; в случае если выпрямитель селеновый и высоковольтный трансформатор вынесены за пределы аппарата, они также подлежат заземлению;

б) откинуть заднюю верхнюю дверцу аппарата, установить ее на кронштейне; откинуть заднюю нижнюю дверцу и установить на нее выпрямитель селеновый, заведя его лапы в выдавки дверцы; вставить в отверстие верхней дверцы рукоятку переключения пределов измерения тока и сочленить ее с переключателем пределов блока микроамперметра; заземлить рукоятку;

в) достать из принадлежностей пружину и присоединить ее одним концом к высоковольтному выводу трансформатора, а другим к выводу выпрямителя селенового, установить рукоятку выключателя «защита» в положение «чувствительная»;

г) подключить при помощи прилагаемого кабеля испытуемый объект к выпрямителю селеновому (муфту кабеля навернуть на вывод блока микроамперметра до упора), установить защитное ограждение с флажками предупредительными;

д) установить рукоятку регулятора напряжения против часовой стрелки до отказа; проверить, чтобы автоматический выключатель находился в положении «отключено»;

е) включить вилку шнура питания в сеть, вставить колодку шнура в вилку аппарата (при этом загорается зеленый сигнал), нажать кнопку «Вкл.» автоматического выключателя (при этом загорается красный сигнал);

ж) повысить напряжение до испытательного значения, плавно вращая рукоятку регулятора напряжения по часовой стрелке (отсчет вести по шкале киловольтметра, отградуированной в киловольтах максимальных);

з) измерить ток утечки, переключая рукоятку переключений пределов тока с большей кратности на меньшую и нажимая кнопку в центре рукоятки;

и) снизить испытательное напряжение до нуля после испытания и нажать кнопку «Откл.» автоматического выключателя;

к) поднести стержень разрядника заземляющего к разрядному крючку блока микроамперметра и снять емкостей заряд через разрядное сопротивление, встроенное внутри

разрядника, а затем заземлить блок микроамперметра наглухо, подвесив разрядник на крючок блока микроамперметра или ручку селенового выпрямителя.

Порядок испытания твердых диэлектриков такой же, как и кабеля.

3) Испытание твердых диэлектриков переменным напряжением при откинутых задних дверцах (без селенового выпрямителя) выполняют с соблюдением следующих правил:

а) заземлить аппарат и разрядник заземляющий;

б) установить рукоятку выключателя «защита» в положение «чувствительная»;

в) присоединить провод, подводящий высокое напряжение к испытуемому объекту, к высоковольтному выводу трансформатора;

г) установить рукоятку регулятора напряжения против часовой стрелки до отказа, проверить, чтобы автоматический выключатель находился в положении «отключено»;

д) включить вилку шнура питания в сеть, вставить колодку шнура в вилку аппарата (при этом загорается зеленый сигнал), нажать кнопку «Вкл.» автоматического выключателя (при этом загорается красный сигнал);

е) повысить напряжение до испытательного значения, плавно вращая рукоятку регулятора напряжения по часовой стрелке (отсчет вести по шкале киловольтметра, отградуированной в киловольтах эффективных).

Оглавление

Введение……3

Общие указания……4

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ ……6

Лабораторная работа №1. Измерение сопротивления заземляющих устройств ……9

Лабораторная работа №2. Определение места повреждения на кабельной линии методом петли……26

Лабораторная работа № 3. Определение места повреждения на кабельной линии методом колебательного разряда …..36

Лабораторная работа № 4. Определение места повреждения на кабельной линии импульсным методом ……..49

Лабораторная работа № 5. Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателей ……59

Лабораторная работа № 6. Измерение сопротивления обмоток электродвигателей постоянному току ……..65

Лабораторная работа № 7. Изучение способов сушки изоляции обмоток трансформаторов ……72

Лабораторная работа № 8. Определение температуры обмоток электродвигателя переменного тока ……91

Лабораторная работа № 9. Испытание электрической прочности междувитковой изоляции обмоток электродвигателей переменного тока ……98

Лабораторная работа № 10. Соединение обмоток электродвигателей переменного тока ……103

Литература……108

Приложение……109

Учебное издание

Эксплуатация электрооборудования и средств автоматики

Методические указания

Компьютерная верстка *А.Н. Попескул*

Набор *А.Н. Попескул*

Усл. печатных листов – 6. Тираж 10 экз.