

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт машиностроения и автомобильного транспорта
Кафедра «Автотранспортная и техносферная безопасность»

Методические указания к лабораторным работам
по дисциплине «Электробезопасность»

для студентов ВлГУ,
обучающихся по направлению **20. 03.01 Техносферная безопасность**
составитель Туманова Н.И.

Лабораторная работа ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Цель работы:

1. Исследование состояния изоляции, электрической сети и изоляции электродвигателя переменного тока.
2. Ознакомление с методами и приборами для измерения сопротивления изоляции и нормативными требованиями к сопротивлению изоляции.

Безопасность человека в процессе эксплуатации электрических сетей и электроустановок во многом зависит от состояния электрической изоляции токоведущих частей. Электрическая изоляция - это материал, используемый в электроустановке и имеющий малую электропроводность, которая при наличии электрического напряжения обуславливает ток утечки. С ростом напряжения, приложенного к изоляции, ее проводимость увеличивается, а ток утечки возрастает. Снижение сопротивления изоляции может быть обратимым (при увлажнении) и необратимым (при старении изоляции, т.е. при изменении физической и химической структура материала с течением времени). Необратимое снижение сопротивления изоляции протекает медленно и носит характер распределенного дефекта по всему объему диэлектрика. К пробое изоляции, т.е. к ее разрушению, может привести воздействие ряда факторов: механические повреждения, систематическое увлажнение, резкие изменения температуры, и действие химически агрессивной среды.

Трехфазные электрические сети делятся на три типа: сети с изолированной нейтралью источника питания; сети с глухозаземленной нейтралью; сети с нейтралью, заземленной через компенсирующее устройство. С точки зрения опасности поражения человека электрическим током наибольшее значение имеет состояние изоляции в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью. При однополюсном прикосновении человека в таких сетях (нейтраль генератора или трансформатора не присоединена к заземляющему устройству или присоединена к нему через аппараты, имеющие большое сопротивление) величина тока, протекающего через тело человека, определяется выражением:

$$I_q = \frac{U_\phi}{R_q + R_d + \frac{R_{из}}{3}},$$

где U_ϕ - фазное напряжение;

R_q - сопротивление тела человека;

R_d - сумма дополнительных сопротивлений (сопротивления обуви, пола, грунта и т.д.)

$R_{из}$ - сопротивление изоляции фазы относительно земли.

Следовательно, величина тока, проходящего через тело человека, тем меньше, чем больше сопротивление изоляции между фазными проводами и

землей.

В процессе эксплуатации электрических сетей и электроустановок необходимо осуществлять контроль за состоянием и сопротивлением изоляции. Сопротивление изоляции всех видов электротехнических изделий нормируется «Правилами эксплуатации электроустановок потребителей». На планшете приведены допустимые сопротивления изоляции аппаратов, вторичных цепей и электропроводки напряжением до 1000 В.

Под контролем изоляции понимают измерение ее активного сопротивления. Различают приемо-сдаточные испытания (при вводе в эксплуатацию вновь смонтированных или вышедших из ремонта электроустановок), периодический и постоянный контроль изоляции. Объем и нормы контроля изоляции регламентированы [1,2]. Периодический контроль состояния изоляции электрических сетей и электроустановок проводят не реже одного раза в год. Периодический контроль изоляции электроустановок производится, как правило, постоянным напряжением с помощью мегаомметра. Наиболее широкое применение получили мегаомметры типа М-1101 на напряжения 100, 500 и 1000 В и МС-06 на напряжение 2500 В.

Постоянный контроль изоляции - измерение сопротивления под рабочим напряжением в течение всего времени работы электроустановки. О величине сопротивления изоляции судят по показаниям приборов или световой и звуковой сигнализации, включающейся при снижении ее величины до предельно допустимого значения.

Постоянный контроль изоляции находит широкое применение в сетях с изолированной нейтралью, в особо электроопасных помещениях с агрессивными средами.

Для постоянного контроля изоляции электроустановок применяются различные схемы контроля и приборы постоянного контроля изоляции, выпускаемые промышленностью. Это схемы трех вольтметров, вентильные схемы, схемы на напряжениях или токах нулевой последовательности, а также приборы ПКИ, ЛИОТ, асимметры и др.

Описание лабораторного стенда и контрольно-измерительных приборов

Общий вид лабораторного стенда показан на рис.1. На стенде приведена схема трехфазной электросети с изолированной нейтралью, к которой подключен асинхронный электродвигатель. Напряжение подается при подключении вторичной обмотки питающего трансформатора ТР пакетным выключателем ВК1. Двигатель подключается выключателем ВК2. Обмотки статора соединены "звездой", центральная точка которой может разъединяться выключателем ВК3.

Для постоянного контроля изоляции используется прибор асимметр, схема которого изображена на стенде, а также вольтметры и амперметры, расположенные на панели стенда. Асимметр работает следующим образом. При замыкании фазы на землю напряжение поврежденной фазы уменьшается, а напряжение исправных фаз увеличивается. В результате получившейся асимметрии напряжений срабатывает реле P , которое включает сигнальную лампу L , что свидетельствует о нарушении изоляции

фаз относительно земли.

Вольтметры и амперметры позволяют обнаружить замыкание на землю одной из фаз. При одинаковом сопротивлении изоляции всех фаз относительно земли каждый из вольтметров будет показывать одинаковое напряжение. При глухом замыкании одной из фаз на землю она будет иметь потенциал земли, а напряжение двух других фаз будет равно линейному напряжению. Если фаза будет замкнута на землю через переходное сопротивление, то вольтметр этой фазы будет показывать напряжение меньше фазного, а два других больше фазного, но меньше линейного напряжения. На рис. 2 а показана векторная диаграмма фазных напряжений при исправной изоляции всех трех фаз, на рис. 2 б - при глухом замыкании фазы А на землю, на рис. 2 в - при замыкании фазы А на землю через переходное сопротивление.

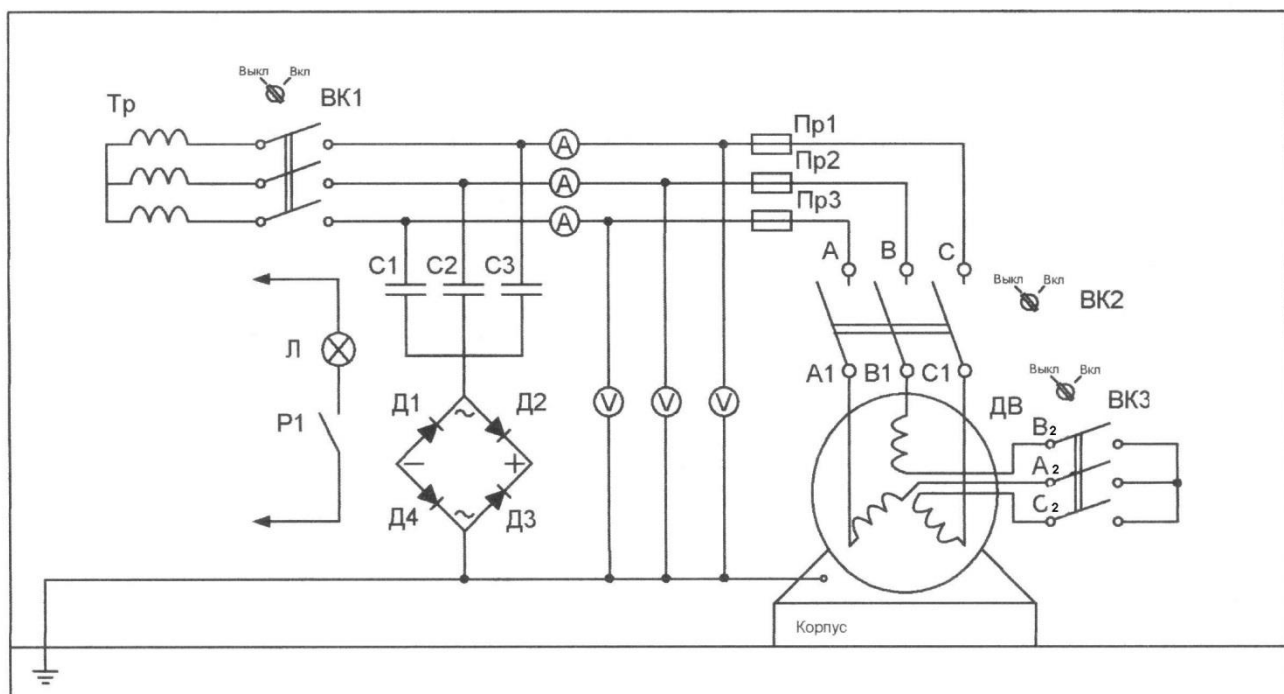


Рис. 1. Общий вид лабораторного стенда

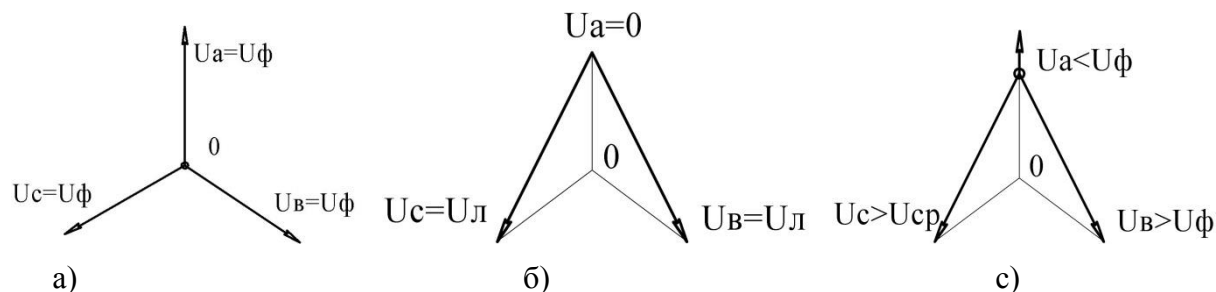


Рис.2. Векторные диаграммы фазных напряжений при исправной изоляции всех фаз (а), при замыкании фазы А на землю (б), при замыкании фазы А на землю через переходное сопротивление (с)

Для периодического контроля изоляции проводов электрической сети на лабораторном стенде применяется прибор мегаомметр М-1101. В этом случае измерение сопротивления изоляции производится только при снятом напряжении в исследуемой электросети. Мегаомметр имеет собственный источник питания - генератор постоянного тока и позволяет производить непосредственный отсчет показаний величины сопротивления изоляции. Мегаомметр дает правильные показания при вращении ручки генератора в пределах 90 - 150 *об/мин* и развивает номинальное напряжение при 120 *об/мин*. За сопротивление изоляции принимается показание мегаомметра через 1 минуту после начала измерений.

Проверка исправности мегаомметра М-1101 проводится следующим образом: переключатель пределов измерений установить в положение "МОм", при вращении рукоятки генератора стрелка прибора должна установиться на отметку " ∞ " при разомкнутых зажимах "земля" и "линия" прибора и на отметку "0" при замкнутых зажимах.

Для проверки отсутствия напряжения на контрольных клеммах лабораторного стенда применяется указатель низкого напряжения МИН-1, который имеет два щупа для одновременного касания к двум фазам или к одной фазе и земле. Напряжение зажигания неоновой лампы выше 90 В.

Порядок проведения работы

Проведение постоянного контроля изоляции участка электрической сети

1. Поставить выключатели ВК1, ВК2, ВК3 в положение "Вкл.". Загорание сигнальной лампы асимметра свидетельствует о нарушении изоляции фаз по отношению к земле.
2. Для выявления фазы с нарушенной изоляцией занести показания вольтметров и амперметров в табл.1 приложения 1.
3. При отсутствии загорания сигнальной лампы и равных показаниях измерительных приборов табл.1 не заполняется.
4. Поставить выключатели ВК1, ВК2, ВК3 в положение "Выкл."
5. По данным измерений сделать вывод о наличии или отсутствии замыкания на землю и вычертить соответствующую векторную диаграмму.

Периодический контроль изоляции

1. Проверить исправность указателя низкого напряжения МИН-1 путем подключения его к электрической розетке. Загорание лампочки в ручке указателя свидетельствует о его исправности.
2. Поставить выключатели ВК1, ВК2, ВК3, в положение "Выкл."
3. Проверить отсутствие напряжения на клеммах А, В, С, А1, В1, С1, А2, В2, С2 путем подключения указателя МИН-1 поочередно к данным клеммам и к заземленной клемме "корпус" электроустановки. Загорание лампочки указателя МИН-1 свидетельствует о наличии напряжения на клеммах. В этом случае работу необходимо прекратить и обратиться к преподавателю.

4. Измерить сопротивление изоляции на участке между выключателями ВК1 и ВК2. Для этого поочередно подключить мегаомметр к контрольным клеммам А-В, А-С и С-В. При вращении рукоятки генератора величина сопротивления изоляции фиксируется по шкале прибора напротив установившегося положения стрелки с учетом выбранного диапазона измерений "кОм" или "МОм". Результаты измерений занести в табл.2 приложения.

5. Измерить сопротивление изоляции между каждым из фазных проводов и землей (корпусом). Для этого зажим "земля" мегаомметра соединить с клеммой "корпус" на стенде, а второй зажим "линия" поочередно соединять с клеммами А, В, С. Результаты измерений занести в табл.2.

6. По измеренным значениям сопротивлений изоляции сделать выводы о ее состоянии, сравнивая их с допустимыми значениями в табл. 5 приложения 2.

Определение состояния изоляции обмоток статора асинхронного электродвигателя.

1. Для проведения измерений выключатели ВК1, ВК2 и ВК3 поставить в положение "Выкл."

2. Определить состояние изоляции между фазными обмотками статора. Для этого поочередно подключать мегаомметр к клеммам А1-В1, А1-С1 и В1-С1. Результаты измерений занести в табл.3 приложения 1.

3. . Определить состояние изоляции обмоток статора по отношению к корпусу. Для этого зажим "земля" мегаомметра соединять с клеммой "корпус" на стенде лабораторной работы, а зажим "линия" поочередно соединять с клеммами А1, В1, С1. Результаты измерений занести в табл.3.

4. Сравнить полученные значения сопротивления изоляции с допустимыми в табл. 5 приложения 2, сделать выводы о ее состоянии.

Проверка исправности обмоток статора электродвигателя

1. Выключатели ВК1, ВК2, ВК3 должны оставаться в положении «Выкл».

2. Поочередно присоединить мегаомметр к клеммам А1-А2, В1-В2, С1-С2. Показания мегаомметра занести в табл. 4 приложения.

3. По данным измерений сделать выводы о наличии или отсутствии обрывов в фазных обмотках электродвигателя.

Отчет о работе должен содержать:

1. Схема лабораторного стенда.
2. Таблицу 1 и векторную диаграмму к ней.
3. Таблицы 2, 3, 4.
4. Аргументированные выводы по результатам экспериментальных данных после каждой таблицы.

Правила техники безопасности при выполнении работы.

1. Приступать к экспериментальной части работы только после изучения методических указаний и настоящих правил.
2. Включать лабораторный стенд необходимо только после разрешения преподавателя.
3. Проверить исправность указателя низкого напряжения МИН-1 и соединительных проводов мегаомметра путем внешнего осмотра. Указатель держать только за изолированные рукоятки.
4. При использовании мегаомметра не касаться оголенных зажимов «земля» и «линии»
5. Проведение измерений мегаомметром проводить при отсутствии напряжения на стенде лабораторной работы.

Контрольные вопросы.

1. Что понимают под электрической изоляцией.
2. От каких факторов зависит величина тока утечки.
3. От чего зависит обратимое и не обратимое ухудшение изоляции.
4. Что влияет на величину тока, протекающего через тело человека при однофазном включении его в сеть с изолированной нейтралью.
5. Какие приборы применяются для постоянного и периодического контроля изоляции. Принцип их действия.
6. Как часто проводят периодический контроль изоляции.
7. Принцип построения векторных диаграм напряжения в сети с неисправной изоляцией фазы.
8. Правила проверки исправности мегаомметра.
9. В каком нормативном документе приведены допустимые значения сопротивления изоляции и чему они равны .

Список рекомендуемой литературы

1. Правило устройства электроустановок (ПУЭ).
2. Правила эксплуатации электроустановок потребителей.-М, 1999.
3. Охрана труда в электроустановках / Под ред. Князевского Б.А. - М.:Энергия, 1977.
4. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. - М.:Энергия, 1979.
5. Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда./П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др.- М.:Высш.шк., 2001.

Приложение 1.

Таблица 1. Состояние изоляций по показаниям приборов постоянного контроля изоляции

Наименование приборов	Показания приборов		
	фаза А	фаза В	фаза С
Вольтметр, В			
Амперметр, А			

Выводы:

Таблица 2. Состояние изоляции на участке электрической сети

Сопротивление изоляции электрической сети по норме	Фактическое сопротивление изоляции					
	между проводами каждой фазы			между землей и фазным проводом		
	А-В	А-С	В-С	А-К	В-К	С-К

Выводы:

Таблица 3. Состояние изоляции фазных обмоток статора электродвигателя

Допустимое Сопротивление изоляции обмоток двигателя	Фактическое сопротивление изоляции					
	между фазными обмотками статора			между корпусом и фазной обмоткой		
	A1-B1	A1-C1	B1-C1	A1-K	B1-K	C1-K

Выводы:

Таблица 4. Проверка обмоток статора электродвигателя на обрыв

Показания прибора мегаомметра, Мом		
Фаза А	Фаза В	Фаза С

Выводы:

Приложение 2.

Таблица 5. Минимально допустимое сопротивление изоляции электроустановок аппаратов, вторичных цепей до 1000 В

Наименование испытываемой изоляции	Сопротивление изоляции, МОм
Силовые и осветительные электропроводки	не менее 0,5
Электрические аппараты на напряжение, В	не менее 0,5
до 42	- -
от 42 до 100	- -
от 100 до 380	- -
свыше 380	- -
Бытовые стационарные электроплиты	не менее 1
Цепи, содержащие устройства с микроэлектронными элементами, рассчитанные на рабочее напряжение, В:	не менее 0,5
выше 60	- -
60 и ниже	- -

Лабораторная работа

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Цель работы:

1. Исследование заземления электроустановок.
2. Ознакомление с приборами контроля сопротивления заземляющего устройства и нормативными требованиями к величине сопротивления заземляющего устройства.

Защитное заземление - преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции. Защитное заземление является простым, эффективным и широко распространенным способом защиты человека от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим поверхностям, оказавшимся под напряжением. Обеспечиваемся это снижением напряжения между оборудованием, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасной величины.

В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.030-81 (Электробезопасность. Защитное заземление, зануление) защитное заземление электроустановок выполняется:

- при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока - во всех случаях;
- при номинальном напряжении от 42 В до 380 В переменного тока и от 110 В до 440 В постоянного тока при работах в условиях с повышенной опасностью и особо опасных по ГОСТ 12.1.013-78.

К частям, подлежащим заземлению, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) относятся:

1. Корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т. п.
2. Приводы электрических аппаратов.
3. Вторичные обмотки измерительных трансформаторов.
4. Каркасы распределительных щитков, щитов управления, щитков и шкафов.
5. Металлические конструкции распределительных устройств, металлические кабельные конструкции, металлические корпуса кабельных муфт, металлические оболочки проводов, стальные трубы электропроводки и другие металлические конструкции, связанные с установкой электрооборудования.
6. Металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников.

Заземляющим устройством называется совокупность конструктивно

объединенных заземлителя - проводников (электродов), соединенных между собой и находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем.

Различаются заземлители с искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления, и естественные - находящиеся в земле металлические предметы иного назначения.

Естественными заземлителями могут быть проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы, за исключением трубопроводов горючих или взрывчатых газов и смесей; металлические, железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в непосредственном соприкосновении с землей, свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле, и т. д.

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные электроды.

В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы с толщиной стенки не менее 3,5 мм (обычно это трубы диаметром 50-60 мм) и уголкового сечения с толщиной полок не менее 4 мм (обычно это уголкового сечения размер от 40х40 до 60х60 мм) длиной 2,5-3,0 м. Широко применяется также прутковая сталь диаметром не менее 10 мм, длиной до 10 м, а иногда и более.

Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода (соединительной полосы) применяется полосовая сталь сечением не менее 4х12 мм и сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

В качестве заземляющих проводников, предназначенных для соединения заземляемых частей с заземлителями, применяются, как правило, полосовая сталь и сталь круглого сечения. В производственных помещениях с электроустановками напряжением выше 1000 В магистрали заземления (то есть заземляющие проводники с двумя и более ответвлениями) из стальной полосы должны иметь сечение не менее 120 мм², а напряжением до 1000 В - не менее 100 мм². Допускается применение стали круглого сечения той же проводимости. Во всех случаях не требуется применения медных проводников сечением более 25 мм², алюминиевых - более 35 мм² и стальных - более 120 мм².

Соединения заземляющих проводников между собой должны обеспечивать надежный контакт и выполняться сваркой. Присоединение заземляющих проводников к заземляемым конструкциям должно быть выполнено сваркой, а присоединение к корпусам аппаратов, машин и т. п. - сваркой или надежным болтовыми соединениями. Присоединение заземляющих проводников к металлическим оболочкам кабелей и проводов следует выполнять пайкой. Каждый заземляемый элемент установки должен быть присоединен к заземлителю или заземляющей магистрали при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение в заземляющий проводник нескольких заземляемых частей установки запрещается.

Величина сопротивления заземляющего устройства регламентируется условиями безопасности. Согласно ГОСТ 12.1.030-81 сопротивление защитного заземления в любое время года не должно превышать нормативных величин (см. приложение 1).

Прежде чем устанавливают какое-либо заземляющее устройство, его предварительно рассчитывают. Расчет защитного заземления имеет - целью определить основные параметры заземления - число, размеры и размещение одиночных заземлителей и заземляющих проводников, при которых напряжение прикосновения и шага в период замыкания фазы на заземленный корпус не превышают допустимый значений.

Сопротивление заземляющего устройства складывается из сопротивлений вертикальных заземлителей и соединяющей их полосы (горизонтального электрода) и определяется по формуле, Ом

$$R_{\text{зв}} = \frac{R_B R_\Gamma}{R_B \eta_\Gamma + R_\Gamma \eta_B n} \quad (1)$$

где R_B - сопротивление одиночного вертикального электрода, Ом;

R_Γ - сопротивление соединительной полосы (горизонтального электрода), Ом;

n - количество вертикальных электродов;

η_B , η_Γ - коэффициенты использования вертикальных (η_B) электродов и горизонтального (η_Γ) полосового электрода (соединительной полосы) (табл. 1 и 2 приложения).

Коэффициент использования характеризует уменьшение проводимости заземлителей вследствие их взаимного влияния. Иногда η именуются коэффициентом экранирования. Значение коэффициента использования зависит от формы, размеров и размещения электродов, входящих в заземляющее устройство, а также от их числа и расстояния между соседними электродами.

Для определения сопротивления одиночного вертикального заземлителя существует ряд формул, каждая из которых отражает сопротивление электрода определенной формы (в виде шара, полушара, трубы, стержня и т. д.). Для вертикального заземлителя в форме трубы сопротивление определяется по следующей формуле, Ом

$$R_B = \frac{\rho \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h+t}{4h-t} \right)}{2\pi l}, \quad (2)$$

где ρ - объемное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

l - длина электрода, м;

d - диаметр электрода, м;

h - расстояние от поверхности грунта до середины электрода, равное $0,5l+t$, м;

t - глубина заложения электрода, м.

Сопротивление горизонтального электрода или соединительной полосы заземлителя, $\Omega\cdot\text{м}$, определяют следующим образом

$$R_r = \frac{\rho}{2\pi L_n} \ln \frac{2L_n^2}{bt}, \quad (3)$$

где ρ - объемное удельное сопротивление грунта, $\Omega\cdot\text{м}$;

b - ширина полосы, м;

t - глубина заложения полосы, м;

L_n - длина соединительной полосы, м, которая определяется по формуле

$$L_n = a[(n-1) + (m-1)], \quad (4)$$

где n - количество заземлителей в контуре;

m - число рядов заземлителей;

a - расстояние между заземлителями, м.

Заземлители находятся непосредственно в грунте, и последний оказывает влияние их сопротивление, так как сам обладает определенным сопротивлением. Электрическое сопротивление грунта характеризуется его объемным удельным сопротивлением ρ , то есть сопротивлением куба грунта с ребром длиной 1 м. Единицей объемного удельного сопротивления является $\Omega\cdot\text{м}$ на метр, $\Omega\cdot\text{м}$.

Значение ρ земли колеблется в широких пределах от десятков до тысяч $\Omega\cdot\text{м}$, так как оно зависит от многих факторов, в том числе от влажности, температуры, рода грунта, степени его уплотнения и от времени года. Учитывая это, величину ρ , принимаемую при расчетах ($\rho_{расч}$) увеличивают на климатический коэффициент, $\Omega\cdot\text{м}$

$$\rho_{расч} = \rho_{табл} \cdot \alpha, \quad (5)$$

где $\rho_{табл}$ - объемное удельное сопротивление грунта, $\Omega\cdot\text{м}$ (табл. 3 приложения);

α - климатический коэффициент (табл. 4 приложения).

Исходные данные для расчета

Для получения более точного значения сопротивления проектируемого заземляющего устройства, необходимо определить объемное удельное сопротивление конкретного вида грунта экспериментальным путем. Для этой цели используют контрольный электрод. В качестве подобного электрода берут забитый в землю металлический стержень длиной 1 м и диаметром 3 см (верхний конец стержня располагается на глубине 0.8 м от уровня поверхности грунта).

Измерив сопротивление контрольного электрода ($R_{контр}$), можно

определить $\rho_{изм}$, Ом

$$\rho_{изм} = \frac{2\pi R_{контр}}{\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h+t}{4h-t}}, \quad (6)$$

где $R_{контр}$ - сопротивление контрольного электрода, Ом;

l - длина контрольного электрода, м;

d - диаметр контрольного электрода, м;

h - расстояние от поверхности грунта до середины электрода, равное $0.3 \cdot l + t$, м;

t - глубина заложения электрода.

В этом случае при расчете заземляющего устройства величину удельного сопротивления грунта определяют по формуле, Ом·м

$$\rho_{расч} = \rho_{изм} \alpha, \quad (7)$$

Описание лабораторной установки и контрольно-измерительных приборов

В лабораторной установке используется реальное заземляющее устройство, заземляющие проводники которого соединены с клеммами для подключения контрольно-измерительных приборов **М-416**, расположенными на специальном стенде (рис. 1). Каждая клемма имеет соответствующее обозначение: 1 - $R_{контр}$ (контрольный электрод); 2-3 - $R_{зв}$ (исследуемое заземляющее устройство); 4 - $R_{зонд}$ (зонд); 5 - $R_{всп}$ (вспомогательный электрод).

Контрольный электрод необходим для измерения объемного удельного сопротивления грунта. Зонд и вспомогательный электрод используются для измерения величины сопротивления исследуемого заземляющего устройства. Вспомогательный электрод предназначен для образования замкнутой электрической цепи между исследуемым и вспомогательным заземлителями во всех случаях, в которых один полюс источника электрической энергии присоединен, к измеряемому заземляющему устройству $R_{зв}$, а другой - к вспомогательному заземлителю. Зонд всегда располагается на таком расстоянии, на котором потенциал грунта может быть принят равным нулю.

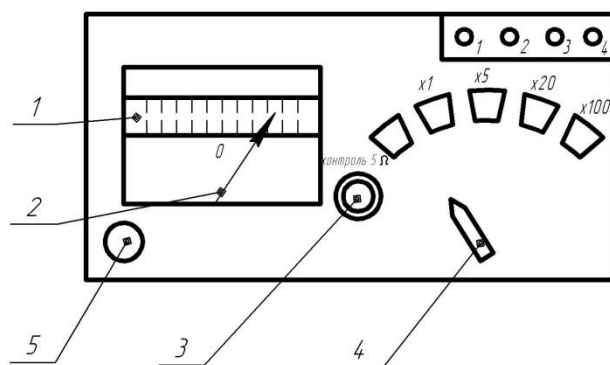


Рис. 1. Прибор М-416.

Действие измерителя сопротивления заземления М-416 (рис. 1) основано на компенсационном методе. Прибор состоит из трех основных узлов:

1. источника постоянного тока;
2. преобразователя постоянного тока в переменный;
3. измерительного устройства.

Прибор имеет специальный калибровочный резистор (реохорд) с центральной шкалой, что позволяет непосредственно отсчитывать величину измеренного сопротивления. Источником постоянного тока в приборе М-416 являются три сухих элемента напряжением от 1.5 В в каждом. Прибор имеет четыре предела измерения:

- 1) от 0.1 до 100 Ом;
- 2) от 0.5 до 500 Ом;
- 3) от 2 до 200 Ом;
- 4) от 10 до 1000 Ом.

Для присоединения соединительных проводов на приборе имеются четыре зажима, которые обозначены цифрами 1, 2, 3, 4.

Прибор М-416 выполнен в переносном виде, в пластмассовом корпусе с откидной крышкой. На лицевой панели прибора расположены рукоятка реохорда, кнопка включения прибора и четыре зажима для присоединения измерительных проводов.

Проведение измерений

Порядок измерения сопротивления заземляющего устройства прибором М-416.

Перед началом измерений необходимо проверить прибор на работоспособность. Для этого установить переключатель пределов измерений 4 в положение "контроль 5Ω", нажав кнопку 5 и вращением лимба реохорда 3 добиться установления стрелки 2 индикатора на нулевую отметку. На шкале 1 реохорда должно быть показание $5 \pm 0,35 \text{ Ом}$. (клеммы 1 и 2 должны быть соединены перемычкой)

Измерение сопротивления контрольного заземлителя $R_{\text{контр}}$.

Клемму $R_{\text{контр}}$ на стенде соединить с зажимом 2 прибора. Клемму $R_{\text{зонд}}$ соединить с зажимом 3, клемму $R_{\text{всп}}$ на стенде - с зажимом 4 прибора.

Зажимы 1 и 2 должны быть соединены перемычкой. Нажать кнопку 5 и, вращая лимб реохорда 3, добиться установления стрелки индикатора 2 на нулевой отметке. Результат измерения равен произведению показания шкалы реохорда 1 на множитель переключателя пределов измерения.

Измерение сопротивления заземляющего устройства $R_{з.у.}$

Зажим 2 соединить с одной из двух клемм $R_{з.у.}$ на стенде. Зажимы 3 и 4 должны быть соединены как и при измерении $R_{контр}$ соответственно с зажимами $R_{зонд}$ и $R_{всп}$ на стенде. Зажимы 1 и 2 прибора соединить перемычкой. Измерение провести по вышеуказанной методике.

Измерение сопротивления заземлителя $R_{заземл.}$

Сопротивление заземляющего устройства состоит из сопротивления заземлителя, непосредственно соприкасающегося с грунтом, и сопротивления подводящих проводов. Для измерения сопротивления заземлителя без учета сопротивления подводящих проводов, надо снять перемычку с зажимов 1 и 2 прибора. Соединить вторую не занятую клемму $R_{з.у.}$ с зажимом 1. Остальные соединительные провода оставить в прежнем положении, при этом сопротивления подводящих проводов взаимно компенсируются. Значение сопротивления находится по описанной выше методике.

Исходные данные для расчета

Параллельно с измерениями рассчитать сопротивление используемого в лабораторной установке заземляющего устройства, состоящего из 6 вертикальных заземлителей трубчатого типа с наружным диаметром 50 мм, длиной 2 м. Расстояние между заземлителями - 3 м (рис. 1), заглубление верхнего конца трубы от поверхности грунта 0.7 м. Заземлители расположены в 2 ряда по 3 заземлителя в каждом. В качестве горизонтального заземлителя использована стальная полоса сечением 20х4 мм. Расчеты производить по формулам (1) - (6) для двух значений $\rho_{расч.}$, найденного по табличным данным ($\rho_{табл}$) и экспериментально ($\rho_{изм}$).

Отчет о работе должен содержать

1. Перечислить приборы, используемые в лабораторной работе, и указать принцип их действия.
2. Вычертить план-схему (см. стенд. 1) заземляющего устройства.
3. По результатам измерений заполнить табл. 5.
4. По результатам расчетов заполнить табл. 6. Все расчеты в отчете привести полностью.
5. Сравнить экспериментальные данные с расчетными и нормативными. Сделать вывод о том, для каких электроустановок можно применить данное заземляющее устройство.

Контрольные вопросы

1. Что такое защитное заземление. В чем его назначение.
2. От чего зависит величина сопротивления заземляющего устройства.
3. Для чего необходимо учитывать климатический коэффициент.
4. Как нормируются сопротивление заземляющего устройства.
5. Каково назначение контрольного и вспомогательного элементов, зонда.
6. Принцип работы прибора М-416.

Список рекомендуемой литературы

1. ГОСТ 12.1.009-76. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения.
2. ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
3. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. -М.: Энергия, 1979.
4. Охрана труда в электроустановках /Под ред. Князевского Б. А. -М.: Энергия, 1977.
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).

Приложение 1.

Нормативные значения сопротивления заземляющих устройств (ГОСТ 12.1.030-81 Электробезопасность. Защитное заземление, зануление)

Электроустановки до 1000 В в сети с изолированной нейтралью.

В электроустановках переменного тока в сетях с изолированной нейтралью или изолированными выводами однофазного источника питания электроэнергией защитное заземление должно быть выполнено в сочетании с контролем изоляции.

Сопротивление заземляющего устройства в стационарных сетях должно быть не более 10 Ом. При удельном сопротивлении земли, большем 500 Ом·м, допускается вводить повышающие коэффициенты, зависящие от γ .

Электроустановки напряжением выше 1000 В в сети с изолированной нейтралью.

В электроустановках напряжением выше 1000 В в сети с изолированной нейтралью должно быть выполнено защитное заземление, при этом рекомендуется предусматривать устройства автоматического отыскания замыкания на "землю". Защиту от замыканий на "землю" рекомендуется устанавливать с действием на отключение (по всей электрически связанной сети), если это необходимо по условиям безопасности.

Наибольшее сопротивление заземляющего устройства R в Ом не должно быть более

$$R=250/I,$$

где I - расчетная сила тока замыкания на землю, A .

При использовании заземляющего устройства одновременно для электроустановок напряжением до 1000 В

$$R=125/I$$

Расчетная сила тока замыкания на землю должна быть определена для той из возможных в эксплуатации схемы сети, при которой сила токов замыкания на землю имеет наибольшее значение.

При удельном сопротивлении земли ρ , большем 500 Ом·м, допускается вводить на указанные значения сопротивлений заземляющего устройства повышающие коэффициенты, зависящие от ρ .

Таблица 1. Коэффициенты использования η_v вертикальных электродов группового заземления (труб, уголков и т. п.) без учета полосы связи

Число заземлителей	Отношение расстояний между электродами к их длине					
	1	2	3	1	2	3
	Электроды размещены в ряд			Электроды размещены по контуру		
2	0.85	0.91	0.94	-	-	-
4	0.73	0.83	0.89	0.69	0.78	0.85
6	0.65	0.77	0.85	0.61	0.73	0.80
10	0.59	0.74	0.81	0.56	0.68	0.76
20	0.48	0.67	0.76	0.47	0.63	0.71

Таблица 2. Коэффициенты использования η_g горизонтального полосового электрода (соединительной полосы)

Отношение расстояний между вертикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов				
	2	4	6	10	20
	Вертикальные электроды размещены в ряд				
1	0.85	0.77	0.72	0.62	0.42
2	0.94	0.80	0.84	0.75	0.56
3	0.96	0.92	0.88	0.82	0.62
	Вертикальные электроды размещены по контуру				
1	-	0.45	0.40	0.34	0.27
2	-	0.55	0.48	0.40	0.32
3	-	0.70	0.64	0.56	0.45

Таблица 3. Приближенные значения удельных электрических сопротивлений различных грунтов ($\rho_{\text{табл}}$)

Грунт	Удельное сопротивление, Ом·м	
	возможные пределы колебаний	при влажности 10-20% к массе грунта
Глина	7-70	40
Суглинок	40-150	100
Песок	400-700	700
Супесок	150-400	300
Торф	10-30	20
Чернозем	9-53	20
Садовая земля	30-60	40

Таблица 4. Значения расчетных климатических коэффициентов сопротивления грунта

Характер грунта	Глубина залегания, м	α_1	α_2	α_3
Суглинок	0.8-3.8	2.0	1.5	1.4
Садовая земля до глубины 0.6 м, ниже - слой глины	0-3	-	1.32	1.2
Гравий с примесью глины, ниже глина	0-2	1.3	1.2	1.1
Известняк	0-2	2.5	1.51	1.2
Гравий с примесью песка	0-2	1.5	1.3	1.2
Торф	0-2	1.4	1.1	1.0
Песок	0-2	2.4	1.56	1.2
Глина	0-2	2.4	1.36	1.2

Примечание: расчет грунта определяется по значениям:

α_1 - измерения производились при большой влажности грунта;

α_2 - измерения производились при средней влажности грунта;

α_3 - измерения проводились при сухом грунте.

Таблица 5. Результаты измерений сопротивления заземляющего устройства

Тип прибора	Вид измеряемого сопротивления	Величина сопротивления, Ом			Нормативное значение сопротивления, Ом (ГОСТ 12.1.030-81)
		1	2	3	
М-416	$R_{\text{конт}}$				
	$R_{\text{з.у}}$				
	$R_{\text{заземл}}$				

Таблица 6. Результаты расчетов сопротивления заземляющих устройств

Наименование заземлителя	Кол-во электродов контуре	Размеры электродов и соединительной полосы, м	Расстояние между электродами, м	Коэффициент использования горизонтального электрода, h_z	Коэффициент использования вертикального электрода, h_e	Общая длина соединительной полосы, м	Расчетная величина объемного удельного сопротивления грунта, Ом·м			Величина сопротивления, Ом
							$\rho_{табл}$ ———— $\rho_{изм}$	$\rho_{изм}$	$\rho_{расч}$	
С учетом $\rho_{табл}$										
Одиночный вертикальный заземлитель										$R_B =$
Горизонтальный заземлитель										$R_z =$
Заземляющее устройство										$R_{3y} =$
С учетом $\rho_{изм}$										
Одиночный вертикальный заземлитель										$R_B =$
Горизонтальный заземлитель										$R_z =$
Заземляющее устройство										$R_{3y} =$

Выводы:

