

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)



Т.Ю.ГРИГОРЬЕВА

# **ЗАЩИТНОЕ ЗАЕМЛЕНИЕ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к лабораторной работе по курсу  
“Безопасность жизнедеятельности”

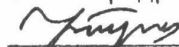
МОСКВА 2010

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(МАДИ)

Кафедра техносферной безопасности

Утверждаю

Зав. кафедрой профессор

 Ю.В.Трофименко

" 16 " 02 2010 г.

Т.Ю.ГРИГОРЬЕВА

## ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
к лабораторной работе по курсу  
"Безопасность жизнедеятельности"

МОСКВА 2010

УДК 628.518

ББК 31.29н

Г 834

Настоящие методические указания содержат основные сведения о применении защитного заземления, конструкции и материалов искусственных и естественных заземлителей; требованиях, предъявляемых к защитному заземлению.

Методические указания соответствуют программе курса «Безопасность жизнедеятельности» и предназначены для студентов всех специальностей МАДИ.

УДК 628.518

ББК 31.29н

© Московский автомобильно-  
дорожный государственный технический  
университет (МАДИ), 2010

## ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатация электрооборудования связана с риском поражения человека электрическим током. Защитное заземление является одним из способов защиты человека от опасного воздействия тока.

**Цель настоящей лабораторной работы** – оценить эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных трехпроводных сетей с изолированной нейтралью и трехфазных пятипроводных сетей с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ.

В ходе выполнения работы перед студентами ставятся следующие задачи:

- оценить эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных трехпроводных сетей с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ;
- оценить эффективность действия защитного заземления в электроустановках, питающихся от трехфазных пятипроводных сетей с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ;
- определить зависимость изменения напряжения прикосновения при изменении расстояния до заземлителя.



## 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 1.1. Основные причины поражения человека электрическим током. Обеспечение защиты от поражения человека током

Электротравматизм на производстве и в быту представляет серьезную опасность для здоровья людей. По статистике в России на долю электрических травм приходится более 3% от общего числа производственных травм, при этом 12...13% из них являются смертельными. Бытовые электротравмы составляют примерно 40% всех несчастных случаев, которые привели к смерти пострадавших [1].

Основными причинами поражения людей электрическим током являются:

- случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям;
- появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала;
- шаговое напряжение на поверхности земли в результате замыкания провода на землю;
- появление напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых работают люди, вследствие ошибочного включения установки;
- воздействие атмосферного электричества, грозových разрядов и статического электричества или электрической дуги;
- попадание под напряжение при освобождении другого человека от воздействия тока.

Обеспечение электробезопасности техническими способами и средствами предусматривает защиту от случайного прикосновения к токоведущим частям и защиту от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям оборудования, которые могут оказаться под напряжением в результате

повреждения изоляции. Согласно ГОСТ 12.1.019-79\* «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [2] электробезопасность должна обеспечиваться:

- безопасной конструкцией электроустановок;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям, согласно Правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок ПУЭ [3], необходимо применять следующие способы и средства:

- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляцию токоведущих частей (рабочую, двойную (рабочую и дополнительную), усиленную рабочую и ее контроль);
- изоляцию рабочего места;
- использование малых напряжений;
- защитное отключение;
- предупредительную сигнализацию, блокировку, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, а также при растекании тока при замыкании провода на землю применяют следующие способы [3]:

- защитное заземление;
- зануление;
- выравнивание потенциалов;
- защитное отключение;
- изоляцию нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- использование малых напряжений;
- контроль изоляции;
- использование средств индивидуальной электробезопасности.

Рассмотрим более подробно некоторые технические средства защиты от поражения электрическим током.

**Применение малого напряжения** (не выше 42 В переменного и 120 В постоянного тока). Номинальное напряжение не более 42 В используется, например, для питания переносных ламп и светильников местного освещения.

**Электрическая изоляция.** Это слой диэлектрика, которым покрывают поверхность токоведущих элементов, или конструкция из непроводящего материала, с помощью которой токоведущие элементы отделяют от других частей электроустановки. Удаление изоляции должно быть возможно только путем ее разрушения. С течением времени в неблагоприятных условиях среды эксплуатации защитные свойства изоляции снижаются, поэтому ее сопротивление необходимо периодически контролировать.

**Оградительные устройства.** Для исключения опасности прикосновения к токоведущим частям необходимо обеспечить их недоступность, что достигается посредством ограждения и расположения токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте. Ограждения применяют сплошные и сетчатые с размером ячейки сетки 25x25 мм. Сплошные ограждения в виде кожухов и крышек используются в электроустановках до 1 кВ. Откидывающиеся крышки закреплены на шарнирах и запираются на замок. Сетчатые ограждения применяют в установках напряжением до и выше 1 кВ. Входные двери ограждений, защитные кожухи могут снабжаться блокировками различного вида.

**Предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.** К ним относятся звуковая, световая и цветовая сигнализация, определяемая согласно требованиям ГОСТ Р 12.4.026-2001 «Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная» [4] (например, красный свет лампы предупреждает о появлении напряжения в электроустановках, зеленый свет – о его снятии); предупреждающие («Стоять, опасно для жизни!»), запрещающие («Не включать - работают люди!») и предписывающие плакаты и знаки

(рис.1). Также применяются цифровые и буквенные обозначения и отличительная окраска шин и кабелей (для исключения ошибочных соединений и лучшей ориентации в электрических цепях электроустановок); блокирующие устройства для защиты от электротравматизма путем автоматического разрыва электрической цепи перед тем, как рабочий может оказаться под напряжением.



Рис.1. Предупреждающие, запрещающие и предписывающие плакаты и знаки

### Средства защиты и предохранительные приспособления.

Средства для защиты персонала от электротравм при работе на электроустановках подразделяют на *вспомогательные* (очки), *ограждающие* (временные переносные заземлители, щиты, изолирующие накладки) и *изолирующие*, среди которых выделяют основные и дополнительные. Основные изолирующие средства защиты способны длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановки и ими можно прикасаться к токоведущим частям оборудования (изолирующие штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи и указатели напряжения, а также диэлектрические перчатки, рукавицы и монтерский электроинструмент с изолированными ручками). Дополнительные защитные средства применяют при использовании основных средств для усиления их изолирующих свойств (диэлектрические перчатки, боты, диэлектрические ковры и галоши, изолирующие подставки). Предохранительными приспособлениями являются предохранительные пояса, монтерские когти, лестницы.

**Выравнивание потенциалов.** Снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или путем применения специальных покрытий земли.

**Электрическое разделение сетей.** Разделение их на отдельные, электрически не связанные между собой участки с помощью разделяющего трансформатора, предназначенного для отделения приемника энергии от первичной электрической сети и сети заземления.

**Защитное отключение.** Быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током за время, неопасное для человека.

**Зануление.** Превращение замыкания на корпус электроустановки в однофазное короткое замыкание, в результате которого срабатывает токовая защита и отключает поврежденный участок.

**Защитное заземление.** Преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

В наиболее распространенных электрических сетях для защиты человека от поражения электрическим током применяется защитное заземление.

## 1.2. Защитное заземление

Защитное заземление – это *преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей, например, корпуса оборудования, которые могут оказаться под напряжением при случайном соединении с токоведущими* (в обычном состоянии они не находятся под напряжением).

При эксплуатации электрических машин, токопотребляющего оборудования и электроинструментов в случае повреждения изоля-

ции на их конструктивных частях появляются напряжения, достаточные для поражения людей или возникновения пожара. Если произошло замыкание и корпус электроустановки оказался под напряжением, то прикоснувшийся к нему человек попадает под напряжение прикосновения  $U_{пр}$ , которое определяется выражением:

$$U_{пр} = \varphi_k - \varphi_з, \text{ В,} \quad (1)$$

где  $\varphi_k$  — потенциал корпуса электроустановки, В;  $\varphi_з$  — потенциал поверхности земли или пола, В.

Таким образом, напряжением прикосновения называется напряжение между двумя токами в цепи тока, которых одновременно может коснуться человек.

При замыкании фазы на корпус электроустановки человек, прикоснувшийся к этому корпусу, попадает под фазное напряжение, опасное для жизни. Для участка, к которому подключается человек, т.е. участок «корпус - земля» как части электрической цепи, применим закон Ома

$$U_{пр} = U_k = I_з \cdot R_з, \text{ (потенциал земли = 0)} \quad (2)$$

где  $U_k$  — напряжение на корпусе, В;  $I_з$  — ток замыкания на землю, А;  $R_з$  — сопротивление защитного заземлителя, Ом.

Действие защитного заземления основано на снижении до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус.

При наличии заземляющего устройства человек и заземлитель включаются в параллельные ветви, и при неизменном общем токе, т. е. сила тока, проходящего через тело человека  $I_h$ , при токе короткого замыкания  $I_з$  будет равной

$$I_h = I_з \left( \frac{R_з}{R_h} \right), \text{ А,} \quad (3)$$

где  $R_h$  — сопротивление человека, Ом.

Итак, уменьшить ток поражения до безопасной величины на

корпусе, к которому прикасается человек, можно путем уменьшения сопротивления участка «корпус - земля», что достигается снижением сопротивления заземлителя  $R_3$ .

Защитное заземление следует отличать от *рабочего заземления* – преднамеренного заземления отдельных точек электрической цепи, предназначенного для обеспечения нормальных режимов работы электроустановки, например, нейтральных точек обмоток генераторов, трансформаторов, а также фазы при использовании земли в качестве фазного или обратного провода.

Защитному заземлению подлежат следующие элементы электроустановок: корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников, переносных электроприемников, каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов, металлические конструкции распределительных устройств, металлические оболочки кабелей и проводов, стальные трубы электропроводки и т. д. [3].

В помещениях с повышенной опасностью<sup>1</sup> и особо опасных<sup>2</sup>, а также наружных установках заземление является обязательным при напряжении электроустановки свыше 42 В переменного и свыше 120 В постоянного тока.

---

<sup>1</sup> Помещения с повышенной опасностью характеризуются наличием одного из условий, создающих повышенную опасность: влажность выше 75% или наличие токопроводящей пыли; токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.); высокая температура (более +35 °С); возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой.

<sup>2</sup> Особо опасные помещения характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой); химически активная или органическая среда (агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования); одновременное наличие двух или более условий повышенной опасности.

В помещениях без повышенной опасности заземление электроустановок необходимо при напряжениях свыше 380 В переменного и 440 В постоянного тока.

Во взрывоопасных помещениях заземление выполняют в любом случае независимо от напряжения установок.

В цепи заземляющих защитных проводников не должно быть разъединяющих приспособлений и предохранителей. Прокладку заземляющих защитных проводников в сухих помещениях без агрессивной среды допускается производить непосредственно по стенам. Во влажных, сырых и особо сырых помещениях, а также при наличии агрессивной среды эти проводники следует прокладывать на расстоянии не менее 10 мм от стен.

Каждая часть электроустановки, подлежащая заземлению, должна быть присоединена к сети заземления при помощи отдельного ответвления. Последовательное соединение заземляющим защитным проводником заземляемых частей электроустановок не допускается.

Не заземляют электроустановки, работающие при напряжении 42 В и ниже переменного тока, за исключением взрывоопасных установок, электроприемники с двойной изоляцией, корпуса различных электроизмерительных приборов.

### 1.3. Требования к защитному заземлению

Согласно ПУЭ [3], наибольшие допустимые значения электрического сопротивления защитного заземления  $R_3^{\text{доп}}$  составляют:

- для электроустановок напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью:  $R_3^{\text{доп}} = 4$  Ом в установках напряжением (при мощности источника тока — генератора или трансформатора менее 100 кВ·А допускается  $R_3^{\text{доп}}$  не более 10 Ом);
- для электроустановок напряжением свыше 1 кВ:
  - с изолированной нейтралью:  $R_3^{\text{доп}} = 250/I_3$ , но не более 10 Ом при изолированной нейтрали, если заземлитель предназначен толь-



ко для электроустановок напряжения свыше 1 кВ;

- с заземленной нейтралью:  $R_3^{доп} = 0,5 \text{ Ом}$  в сети с эффективно заземленной нейтралью.

После определения допустимого сопротивления заземляющего устройства  $R_3^{доп}$  следует убедиться, что при рассчитанном значении  $R_3^{доп}$  напряжение шага в пределах действия заземлителя не превышает допустимого значения.

В электроустановках напряжением до 1 кВ сети с изолированной нейтралью для земли с удельным сопротивлением  $\rho$  более 500 Ом·м, если специальные мероприятия по уменьшению сопротивления грунта  $\rho$  не позволяют получить приемлемые по экономическим соображениям заземлители, допускается повысить указанные выше допустимые значения сопротивлений заземляющих устройств в  $0,002\rho_3$  раз, где  $\rho_3$  - эквивалентное удельное сопротивление земли, Ом·м. При этом увеличение допустимых значений сопротивлений должно быть не более десятикратного [3].

#### 1.4. Применение заземления в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью

Для сети напряженностью до 1 кВ с изолированной нейтралью небольшой протяженности ( $C \rightarrow 0$ ), если корпус установки не заземлен и оказался в контакте с фазным проводом, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно прикосновению к фазному проводу (рис. 2) [5].

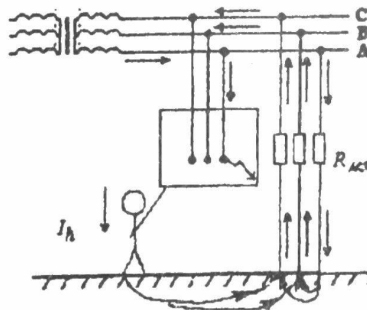


Рис. 2. Сеть с изолированной нейтралью без заземления электрооборудования

В этом случае ток, проходящий через человека, может быть определен по формуле

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{R_{из}}{3}}, \text{ A}, \quad (4)$$

где  $U_\phi$  - фазное напряжение сети, В;  $R_{из}$  - сопротивление изоляции фаз относительно земли, Ом.

Из формулы (4) очевидно, что при низком сопротивлении изоляции фаз относительно земли (при хорошей изоляции сопротивление фаз равно десяткам кОм) ток прикосновения может оказаться смертельно опасным для человека. Например, при фазном напряжении  $U_\phi = 220$  В, сопротивлении человека  $R_h = 1$  кОм и сопротивлении изоляции фаз  $R_{из} = 3$  кОм, ток прикосновения  $I_h$ , рассчитанный по формуле (4), составляет:

$$I_h = \frac{220}{1000 + \frac{3000}{3}} = 0,11 \text{ A}.$$

Такой ток смертельно опасен для человека (табл. 1).

Таблица 1

Оценка степени воздействия переменного тока промышленной частоты (50 Гц) на человека

Ток $I_h$ , проходящий через человека, мА	Характер воздействия на человека	Название порогового тока
1...3	Начало ощущения тока - лёгкое дрожание пальцев рук	Ощутимый, мало-опасный
4...10	Сильное дрожание пальцев рук, судороги в руках, руки трудно, но ещё можно оторвать от проводника	Отпускающий, умеренно-опасный
11...20	Паралич рук, оторвать их от проводника невозможно	Неотпускающий, опасный
21...50	Затруднение или остановка дыхания	Высокоопасный
51...80	Остановка дыхания, начало фибрилляции сердца	Чрезвычайно опасный
81...100 и более	Остановка дыхания, фибрилляция сердца (при $t > 0,5с$ - летальный исход)	Фибрилляционный, смертельно опасный

Если корпус оборудования заземлен (рис. 3), в случае пробоя на корпус, основная часть тока замкнется на землю через зазем-

ляющее устройство  $R_3$ :

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_3 + \frac{R_{из}}{3}} = \frac{U_\phi}{\sqrt{3}(R_3 + \frac{R_{из}}{3})}, \text{ А}, \quad (5)$$

где  $U_\phi$  - линейное напряжение, В;  $R_3$  - сопротивление заземлителя, Ом.

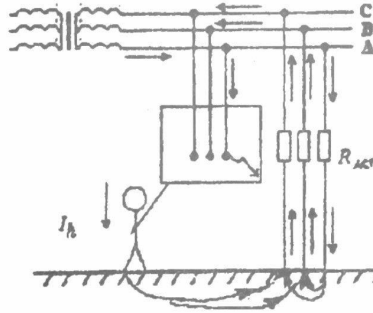


Рис. 3. Сеть с изолированной нейтралью с заземлением электрооборудования

Напряжение на заземлителе  $U_3$  будет равно

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 = \frac{U_\phi \cdot R_3}{R_3 + \frac{R_{из}}{3}}, \text{ В}. \quad (6)$$

Напряжение корпуса относительно земли  $U_k$  в этом случае будет равно напряжению на заземлителе  $U_3$ , а ток, проходящий через человека, касающегося корпуса при самых неблагоприятных условиях, будет равен:

$$I_h = \frac{U_3}{R_h} = \frac{U_\phi \cdot R_3}{R_h \cdot (R_3 + \frac{R_{из}}{3})}, \text{ А}. \quad (7)$$

При фазном напряжении  $U_\phi = 220$  В, сопротивлении защитного заземлителя  $R_3 = 4$  Ом (установлен требованиями ПУЭ) и хорошей изоляции (сопротивление изоляции фаз  $R_{из} = 30000$  Ом), рассчитанный по формуле (5) ток замыкания на землю  $I_3$  составит:

$$I_3 = \frac{220}{4 + \frac{30000}{3}} = 0,022 \text{ А}.$$

Ток прикосновения  $I_h$  согласно формуле (7) будет равен:

$$I_h = \frac{220 \cdot 4}{1000 \cdot \left(4 + \frac{30000}{3}\right)} = 0,000088 \text{ А} = 0,088 \text{ мА}.$$

Таким образом, проходящий через человека ток очень незначителен и безопасен для человека, т.е. обеспечивается надежная защита человека от поражения электрическим током.

Это положение будет выполняться только при хорошей изоляции фаз. При нарушении изоляции фаз или значительном уменьшении  $R_{uz}$  защитные свойства заземления резко снижаются.

**В сети с заземленной нейтралью** (рис. 4) при замыкании фазы на корпус по цепи, образовавшейся через землю, будет проходить ток  $I_3$ :

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_3 + R_0}, \text{ А}, \quad (8)$$

где  $R_0$  - сопротивление заземления нейтрали, Ом.

Напряжение на заземлителе  $U_3$  будет равно

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 = \frac{U_\phi \cdot R_3}{R_3 + R_0}, \text{ В}. \quad (9)$$

Напряжение корпуса относительно земли  $U_k$  в этом случае будет равно напряжению на заземлителе  $U_3$ , а ток, проходящий через человека, касающегося корпуса при самых неблагоприятных условиях, будет равен:

$$I_h = \frac{U_3}{R_h} = \frac{U_\phi \cdot R_3}{R_h \cdot (R_3 + R_0)}, \text{ А}. \quad (10)$$

Для фазного напряжения  $U_\phi = 220 \text{ В}$ , сопротивлений защитного заземлителя  $R_3 = 4 \text{ Ом}$  и рабочего заземлителя  $R_0 = 4 \text{ Ом}$  ток замыкания на землю, рассчитанный по формуле (8), равен

$$I_3 = \frac{220}{4 + 10} = 15,7 \text{ А}.$$

Ток прикосновения  $I_h$  согласно формуле (10) будет равен:

$$I_h = \frac{220 \cdot 4}{1000 \cdot (4 + 10)} = 0,0628 \text{ А} = 62,8 \text{ мА},$$

что представляет опасность для человека.

Как видно из формулы (8), при снижении сопротивления заземлителя  $R_3$  стекающий с заземлителя ток  $I_3$  существенно возрастает, следовательно, эффективность заземления в таких сетях невысока. Поэтому в сетях до 1 кВ с заземленной нейтралью защитное заземление не применяется.

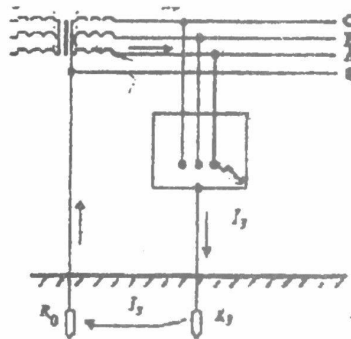


Рис. 4. Заземление электрооборудования в сети с заземленной нейтралью

*Итак, заземление будет эффективным только в том случае, если ток замыкания на землю  $I_3$  не увеличивается с уменьшением сопротивления заземления  $R_3$ . Это условие выполняется в сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ, поскольку в них ток замыкания на землю в основном определяется сопротивлением изоляции проводов относительно земли, которое значительно больше сопротивления заземлителя.*

***В сетях с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1 кВ заземление неэффективно, поскольку ток замыкания на землю зависит от сопротивления заземления и при его уменьшении ток возрастает.***

***Поэтому защитное заземление применяется в сетях напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью. При напряжении выше 1 кВ защитное заземление применяется в сетях как с изолированной, так и с заземленной нейтралью.***

## 1.5. Заземляющие устройства

*Заземляющее устройство* — совокупность *заземлителя* (металлического проводника или группы соединенных между собой металлических проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей) и *заземляющих проводников*, соединяющих заземляемые части с заземлителем.

Заземляющие устройства должны быть выбраны и смонтированы таким образом, чтобы:

- значение сопротивления растеканию заземляющего устройства соответствовало требованиям обеспечения защиты и работы установки в течение периода эксплуатации;
- протекание тока замыкания на землю и токов утечки не создавало опасности, в частности, в отношении нагрева, термической и динамической стойкости;
- были обеспечены необходимая прочность или дополнительная механическая защита в зависимости от заданных внешних факторов по ГОСТ 30331.2/ГОСТ Р 50571.2.

Должны быть приняты меры по предотвращению повреждения металлических частей из-за электролиза.

### 1.5.1. Заземлители

Различают заземлители *искусственные*, предназначенные исключительно для целей заземления, и *естественные* — находящиеся в земле предметы, используемые для других целей.

В качестве *естественных заземлителей* можно использовать[3]:

- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей, в том числе железобетонные фундаменты зданий и сооружений;
- металлические трубы водопровода, проложенные в земле, при условии получения разрешения от водоснабжающей организации, а также при условии, что приняты надлежащие меры по извещению эксплуатационного персонала электроустановки о намечаемых из-

менениях в водопроводной системе;

- свинцовые и другие металлические оболочки кабелей, не подверженные разрушению коррозией, при наличии разрешения владельца кабеля и при условии, что будут приняты надлежащие меры по извещению эксплуатационного персонала электроустановки о всяких изменениях, касающихся кабелей, которые могут повлиять на его пригодность к использованию в качестве заземлителя.

Не допускается использовать в качестве заземлителей [3]:

- трубопроводы горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей и трубопроводов канализации и центрального отопления;
- алюминиевые оболочки кабелей;
- железобетонные конструкции зданий и сооружений с предварительно напряженной арматурой (за исключением опор высотных линий).

Использование естественных заземлителей в качестве элементов заземляющих устройств не должно приводить к их повреждению при протекании по ним токов короткого замыкания или к нарушению работы устройств, с которыми они связаны.

*Согласно требованиям ПУЭ для заземления электроустановок в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители.* Если при этом сопротивление заземляющих устройств или напряжение прикосновения имеют допустимые значения, а также если обеспечиваются нормированные значения напряжения на заземляющем устройстве, то искусственные заземлители должны применяться лишь при необходимости снижения плотности токов, протекающих по естественным заземлителям или стекающих с них.

В качестве *искусственных заземлителей* применяются обычно вертикальные электроды. Чаще всего они выполняются из черной или оцинкованной стали или медными и не должны иметь окраски. Материал и наименьшие размеры заземлителей должны соответствовать приведенным в табл. 2 [3].

Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм	Толщина стенки, мм
Сталь черная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	16	-	-
	для горизонтальных заземлителей	10	-	-
	Прямоугольный	-	100	4
	Угловой	-	100	4
Трубный	32	-	3,5	
Сталь оцинкованная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	12	-	-
	для горизонтальных заземлителей	10	-	-
	Прямоугольный	-	75	3
Трубный	25	-	2	
Медь	Круглый	12	-	-
	Прямоугольный	-	50	2
	Трубный	20	-	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	-
Примечание* Диаметр каждой проволоки				

В качестве вертикальных электродов предпочтительно использовать стальные стержни диаметром 10...16 мм и длиной 5...10 м, угловую сталь (от 40x40 до 63x63 мм). Как исключение можно использовать стальные трубы с толщиной стенки не менее 3,5 мм (некондиционные или бывшие в употреблении), длиной 2,5...3,0 м.

### 1.5.2. Заземляющие проводники

В качестве заземляющих проводников могут использоваться *искусственные* и *естественные* проводники.

К *естественным* проводникам относятся: металлические конструкции зданий (фермы, колонны и т.п.); арматура железобетонных строительных конструкций и фундаментов; металлические конструкции производственного назначения (подкрановые пути, каркасы распределительных устройств, галереи, площадки, шахты лифтов, подъемников, элеваторов, обрамления каналов и т. п.); стальные трубы электропроводок; алюминиевые оболочки кабелей; металли-



ческие кожухи и опорные конструкции шинопроводов, металлические короба и лотки электропроводок; металлические стационарные, открыто проложенные трубопроводы всех назначений, кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных веществ и смесей, канализации и центрального отопления [3].

Перечисленные естественные проводники могут служить единственными заземляющими проводниками, если они по проводимости удовлетворяют требованиям ПУЭ и если обеспечена непрерывность электрической цепи на всем протяжении пользования.

В качестве *искусственных* заземляющих проводников используются проводники черного и цветного металла, наименьшие сечения которых должны соответствовать требованиям ПУЭ, приведенным в табл. 2. Прокладка в земле алюминиевых неизолированных проводников не допускается.

### 1.6. Исполнение и размещение заземляющих устройств

Для заземления электроустановок, питающихся от сети с изолированной нейтралью, наиболее часто применяют комбинирован-

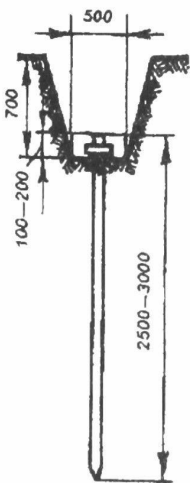


Рис. 5. Установка стержневого заземлителя в траншее

ные групповые заземлители, состоящие из *вертикальных электродов*, верхние концы которых расположены на глубине 0,7...0,8 м от поверхности земли и электрически соединены между собой горизонтальным электродом. Для установки заглубленных вертикальных заземлителей предварительно роют траншею, после чего забивают электроды (рис. 5) [6].

Траншеи для горизонтальных заземлителей должны заполняться однородным грунтом, не содержащим щебня и строительного мусора. Тип заземлителей и глубина их заложения должны быть такими, чтобы высыхание и промерзание грунта не вызывали превышения требуемого

значения сопротивления растеканию.

Эффективность заземлителя зависит от конкретных грунтовых условий (плотность грунта, его влажность и температура, значение рН, электрическое сопротивление), и поэтому в зависимости от этих условий и требуемого значения сопротивления растеканию должны быть выбраны количество и конструкция заземлителей. Значение сопротивления растеканию заземлителя может быть рассчитано или измерено.

Удельное электрическое сопротивление земли  $\rho$ , Ом·м, изменяется в широких пределах (табл. 3).

Если верхний слой земли имеет сравнительно малое удельное сопротивление, например, если у поверхности земли расположены слои глины или чернозема, который богат растворимыми веществами, хорошо удерживает воду, при создании искусственных талых зон путем укрытия грунта над заземлителем слоем теплоизоляционного материала (торфа) на зимний период, целесообразно использовать протяженные горизонтальные заземлители, размещенные в верхнем слое земли.

Таблица 3

Ориентировочные значения удельных электрических сопротивлений различных видов земель и воды [6]

№ п.п.	Вид земли и воды	$\rho$ , Ом м
1.	Торф	10...30
2.	Садовая земля	20...60
3.	Чернозем	10...50
4.	Глины	3...80
5.	Суглинок пластинчатый (влажный)	5...40
6.	Суглинок полутвердый (слабовлажный)	50...150
7.	Пахотная земля, смешанный грунт	20...180
8.	Супесь влажная (пластинчатая)	100...200
9.	Супесь слабовлажная (твердая)	200...400
10.	Мергели	100...250
11.	Песок при глубине залегания вод менее 5 м	300...700
12.	Песок при глубине залегания вод 6—10 м	500...1500
13.	Гравий, щебень	4000...7000

В плохо проводящих грунтах, например, в песчаных, если проводимость для нижнего слоя грунта в 3...10 раз больше, чем для верхнего, следует применять вертикальные глубинные заземлители.

В районах многолетней мерзлоты глубинные заземлители целесообразно дополнять протяженными горизонтальными, прокладываемыми на глубине 0,5 м, которые предназначены для работы в летнее время при оттаивании верхнего слоя грунта.

Заземлители не следует размещать вблизи горячих трубопроводов и других объектов, вызывающих высыхание почвы, а также в местах, где возможна пропитка грунта нефтью и маслами [6]. Горизонтальные заземлители в местах пересечения с подземными сооружениями (с кабелями, трубопроводами), с железнодорожными путями и дорогами, а также в местах возможных механических повреждений следует защищать безнапорными трубами.

Материал и конструкция заземлителей должны быть устойчивыми к коррозии.

В случае опасности коррозии заземляющих устройств следует выполнить одно из следующих мероприятий [3]:

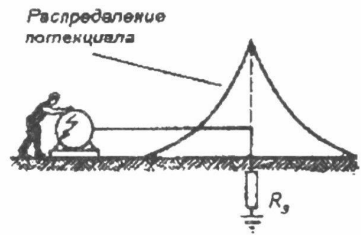
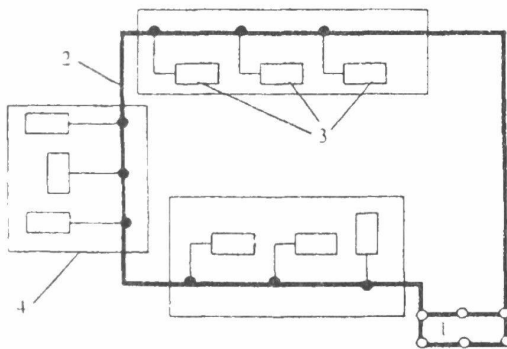
- увеличить сечения заземлителей и заземляющих проводников с учетом расчетного срока их службы;
- применить заземлители и заземляющие проводники с гальваническим покрытием или медные.

При высоком удельном электрическом сопротивлении земли в целях уменьшения размеров и количества используемых электродов и площади территории, занимаемой заземлителем, может применяться искусственная обработка грунта электролитами с целью снижения его удельного сопротивления. В качестве электролитов используют соляные растворы, не увеличивающие коррозию стали: растворы нитрата натрия, гидрата оксида кальция [6]. Не следует применять растворы хлористого натрия, хлористого кальция, сернокислой меди. Снижение удельного сопротивления наблюдается в течение 2...4 лет, после чего требуется вновь пропитывать грунт электролитом.

Различают два типа заземляющих устройств (в зависимости от взаимного расположения заземлителей и заземляемого оборудования): выносные (сосредоточенные) и контурные (распределенные).

Выносное (сосредоточенное) заземляющее устройство (рис.6, а) [5] следует устраивать при невозможности разместить заземлитель на защищаемой территории; при высоком сопротивлении земли на этой территории и наличии на сравнительно небольшом удалении мест с повышенной проводимостью; при рассредоточенном размещении заземляемого оборудования и т.п. В этом случае заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещается заземляемое оборудование, или сосредоточен на некоторой части этой площадки.

При работе выносного заземления потенциал основания, на котором находится человек, равен или близок к нулю (в зависимости от удаленности человека от заземлителя) (см. рис.6, б) [5]. Защита человека осуществляется лишь за счет малого электрического сопротивления заземления.



а) б)  
Рис.6. Схема выносного заземления:

а – организация выносного заземления: 1 - заземлители; 2 - заземляющие проводники; 3 - заземляемое оборудование; 4 - производственные здания;

б – распределение потенциала

Такой тип заземляющего устройства обеспечивает в ряде случаев недостаточно высокую степень защиты человека и лишь уменьшает опасность или тяжесть поражения электрическим током. Поэтому его применяют лишь при малых значениях тока замыкания на землю и, в частности, в установках напряжением до 1 кВ. Достоинством такого типа заземляющего устройства является возмож-

ность выбора места размещения заземлителя с наименьшим сопротивлением грунта (сырое, глинистое, в низинах и т. п.).

*Контурное (распределенное) заземляющее устройство* следует применять в случаях, когда необходимо выровнять потенциал на защищаемой территории и тем самым уменьшить напряжения прикосновения и шага до допустимых значений.

В этом случае одиночные заземлители размещают по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, или распределяют на всей площадке (зоне обслуживания оборудования) равномерно. Безопасность при контурном заземлении достигается выравниванием потенциала основания и его повышением до значений, близких к потенциалу корпуса оборудования. В результате обеспечивается высокая степень защиты от прикосновения к корпусу оборудования, оказавшегося под напряжением, и от шагового напряжения. Поэтому контурное заземление обычно устраивают на открытых электрических подстанциях при больших токах замыкания на землю и при напряжениях свыше 1 кВ.

На рис. 7 показана схема контурного заземления (кривые показывают распределение электрического потенциала внутри и за пределами контура) [5, 6].

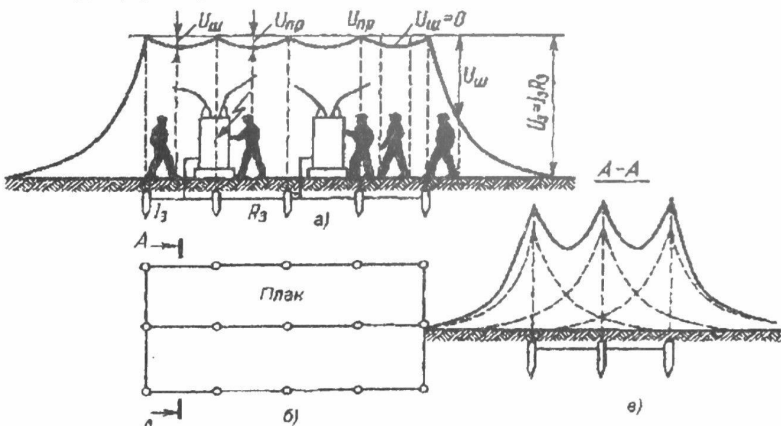


Рис. 7. Контурное заземление:

- а — разрез по вертикали; б — вид в плане; в — распределение потенциалов;
- $I_3$  — ток замыкания на землю;  $R_3$  — сопротивление защитного заземления;
- $U_{ш}$  — шаговое напряжение;  $U_{пр}$  — напряжение прикосновения

Как видно из представленных кривых, за пределами контура потенциал основания быстро снижается с увеличением расстояния, что может явиться причиной появления больших значений шагового напряжения в этих зонах. Чтобы уменьшить шаговые напряжения за пределами контура вдоль проходов и проездов, в грунт закладывают специальные шины.

Внутри помещений выравнивание потенциала происходит естественным путем через металлические конструкции, трубопроводы, кабели и другие проводящие предметы, связанные с разветвленной сетью заземления.

## 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

### 2.1. Описание лабораторного стенда БЖ 6/2

Лабораторный стенд БЖ 6/2, лицевая панель которого показана на рис. 8, позволяет моделировать два способа защиты от поражения электрическим током: защитное заземление и зануление. Стенд представляет собой модель электрической сети с источником питания, электропотребителями, средствами защиты измерительными приборами. В качестве источника используется трехфазный трансформатор.

Стенд позволяет моделировать два типа сетей:

- трехфазную трехпроводную сеть с изолированной нейтралью (рис. 9, а);
- трехфазную пятипроводную сеть с заземленной нейтралью, в которой нулевой защитный (*РЕ*) и нулевой рабочий (*N*) проводники разделены на всем протяжении (рис. 9, б).

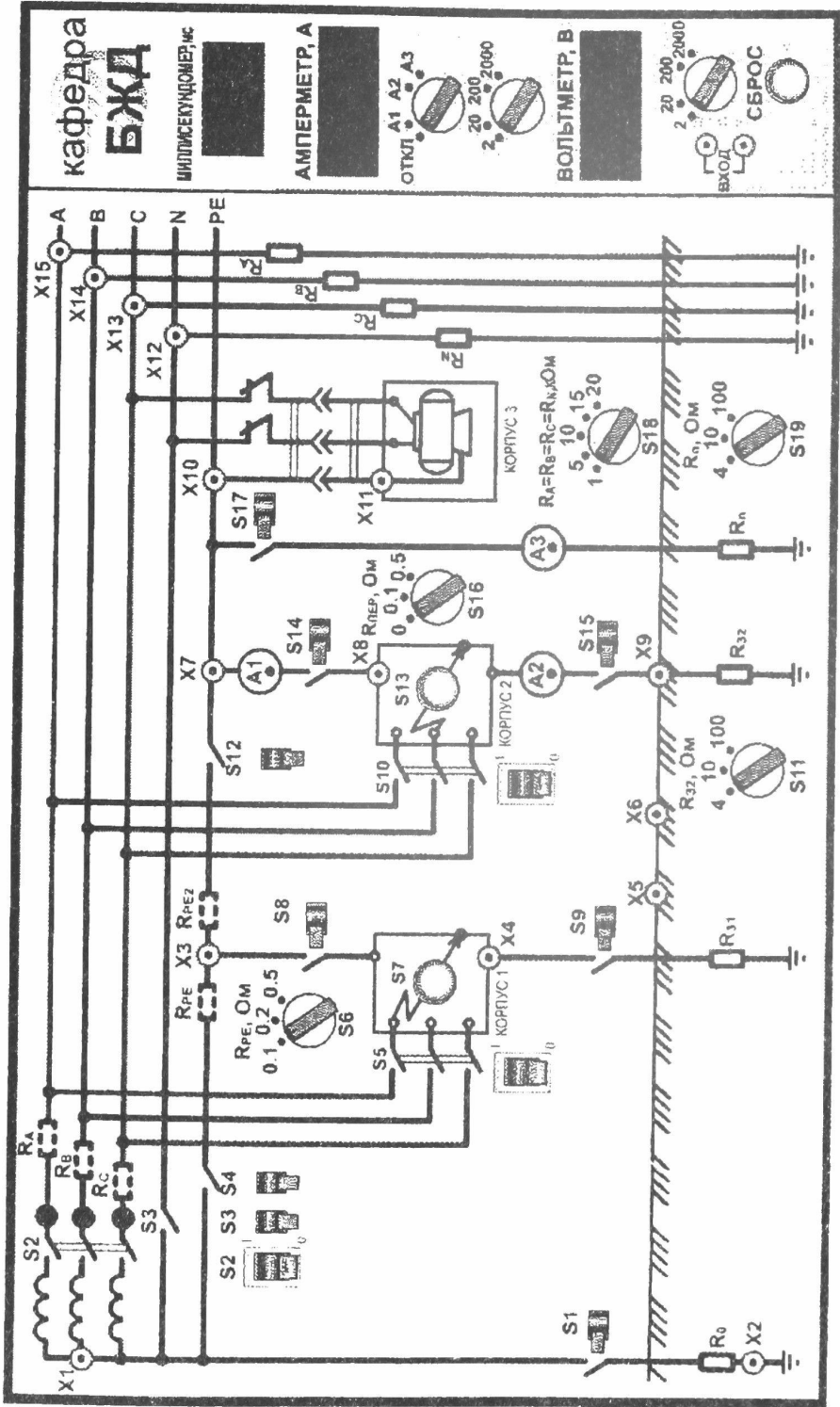


Рис. 8. Лицевая панель стенда БЖ 6/2

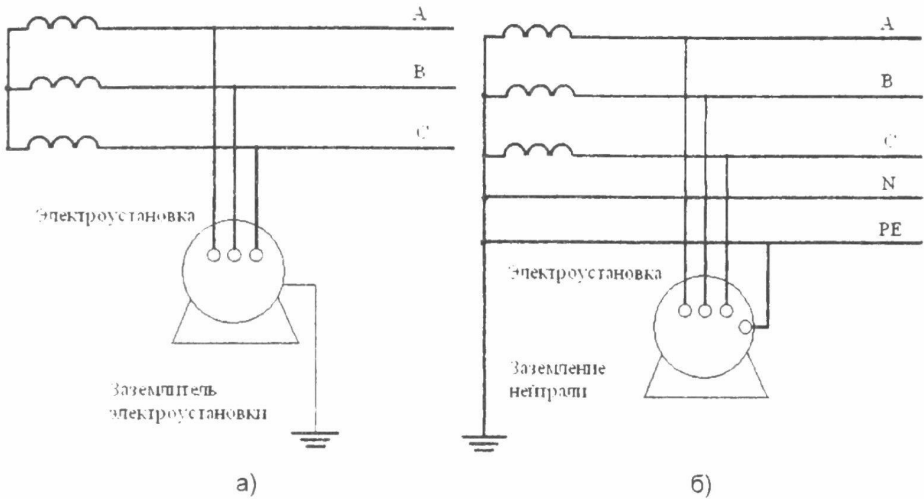


Рис. 9. Моделируемые типы сетей:

а — трехпроводная сеть с изолированной нейтралью, б — пятипроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

Стенд включается трехфазным автоматом  $S2$  - положение «1». При этом загораются индикаторы (желтого, зеленого, красного цветов), расположенные рядом с фазными проводами  $A, B, C$ .

Переключатель  $S1$  предназначен для изменения режима нейтрали исследуемой сети: правое положение – заземленная нейтраль, левое положение – изолированная нейтраль.

Нейтральная точка заземляется через сопротивление  $R_0 = 4 \text{ Ом}$ .

Переключатель  $S3$  предназначен для подключения / отключения нулевого рабочего проводника ( $N$ -проводника).

Переключатель  $S4$  предназначен для подключения / отключения нулевого защитного проводника ( $PE$ -проводника). Верхнее положение переключателей (подключены) означает наличие пятипроводной сети, нижнее положение (отключены) - трехпроводной сети.

Сопротивления фазных проводов сети  $A, B, C$  и  $N$ -провода относительно земли ( $R_A, R_B, R_C, R_N$ ) устанавливаются пятипозиционным переключателем  $S18$  в зависимости от варианта задания.

На данном стенде моделируется только активная составляющая полного сопротивления, причем исследуется случай симмет-



ричной проводимости проводов относительно земли, то есть  $R_A = R_B = R_C = R_N$ .

Электропотребители на схеме показаны в виде их корпусов. Потребители «корпус 1» и «корпус 2» являются трехфазными и подключены к сети через автоматические выключатели  $S5$  и  $S10$  соответственно. Положение «1» означает включение автоматов, при этом напряжение подается на потребители.

Сопrotивление фазного провода от нейтральной точки до корпуса 2 не изменяется и имеет значение  $R_{\phi} = 0,1 \text{ Ом}$ , распределенное равномерно на двух участках провода (нейтральная точка - точка подключения корпуса 1 и точка подключения корпуса 1 - точка подключения корпуса 2).

Подключение корпусов 1 и 2 к заземляющим устройствам с сопротивлениями  $R_{31}$ ,  $R_{32}$  осуществляется с помощью переключателей  $S9$  и  $S15$  соответственно.

Сопrotивление заземления  $R_{31}$  корпуса 1 является постоянным и равным  $4 \text{ Ом}$ . Сопrotивление заземления  $R_{32}$  корпуса 2 устанавливается с помощью трехпозиционного переключателя  $S11$  дискретно ( $4, 10, 100 \text{ Ом}$ ).

Замыкания фазных проводов на корпус 1 и 2 осуществляются кнопками  $S7$  и  $S13$  соответственно (при соответствующем подключении загорается лампочка), причем на корпус 1 замыкается фазный провод  $A$  и на корпус 2 - фазный провод  $B$ .

Лабораторный стенд содержит три измерительных прибора:

- цифровой вольтметр с диапазоном измерения от  $0$  до  $2000 \text{ В}$ ,
- цифровой амперметр с диапазоном измерения от  $0$  до  $2000 \text{ А}$ ,
- цифровой миллисекундомер с диапазоном измерения  $0 \dots 999 \text{ мс}$ .

Вольтметр включается в измерительные цепи через гнезда  $X1 \dots X15$ , установленные в соответствующих точках схемы, с помощью гибких проводников, снабженных наконечниками.

Включение амперметра в цепь осуществляется с помощью переключателя, находящегося под индикатором (при соответствующем подключении загорается лампочка, указывающая на место

подключения прибора в сети):

- положение «ОТКЛ» - амперметр не подключен,
- положение «А1» - измерение тока короткого замыкания,
- положение «А2» - измерение тока, стекающего с заземлителя

корпуса 2,

- положение «А3» - измерение тока замыкания на землю через повторное заземление РЕ-проводника.

Миллисекундомер включается при нажатии кнопки S13, а отключается при срабатывании автоматического выключателя S10. Для возврата схемы в исходное состояние после проведения всех необходимых замеров следует нажать кнопку «СБРОС».

## 2.2. Порядок выполнения работы

Работа выполняется в соответствии с описанием согласно исходным данным варианта индивидуального задания (табл. 4).

Таблица 4

Варианты индивидуальных заданий

№ вар.	$R_{uz}$ , кОм	$R_{з2}$ , Ом	№ вар.	$R_{uz}$ , кОм	$R_{з2}$ , Ом	№ вар.	$R_{uz}$ , кОм	$R_{з2}$ , Ом
1	1	4	6	1	10	11	1	100
2	5	4	7	5	10	12	5	100
3	10	4	8	10	10	13	10	100
4	15	4	9	15	10	14	15	100
5	20	4	10	20	10	15	20	100

\*  $R_{uz} = R_A = R_B = R_C = R_N$

### 2.2.1. Оценка эффективности действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью

1. Изолировать нейтраль - перевести переключатель S1 в левое положение.

2. Отключить N и РЕ-проводники - перевести переключатели S3 и S4 в нижнее положение.

3. Установить значения активных сопротивлений изоляции  $R_a=R_b=R_c$  переключателем  $S18$  в соответствии с вариантом.
4. Убедиться, что:
  - переключатели  $S9, S14, S15, S17$  находятся в левом положении;
  - переключатель  $S12$  - в нижнем положении.
5. Включить стенд – перевести переключатель  $S2$  в положение «/», при этом на стенде загораются лампы.
6. Подключить корпус 2 к сети - положение автомата  $S10$  - «/» (корпус 1 отключён - положение автомата  $S5$  – «О»).
7. Произвести переключателем  $S13$  замыкание фазного провода  $B$  на корпус 2.
8. Вольтметром с помощью гибких проводников измерить следующие напряжения:
  - напряжение корпуса 2 относительно земли  $U_k$  (гнезда  $X2$  и  $X8$ );
  - напряжения фазных проводов относительно земли  $U_a, U_b, U_c$  (гнезда  $X2$  и  $X15, X2$  и  $X14, X2$  и  $X13$ ). Полученные значения заносятся в табл.5.
9. Кнопкой «СБРОС» устранить замыкание фазного провода  $B$  на корпус 2.
10. Выключить стенд - положение переключателя  $S2$ - «О».
11. Установить значение сопротивления заземления  $R_{32}$  с помощью переключателя  $S11$  равным 4 Ом.
12. Заземлить корпус 2 – перевести переключатель  $S15$  в правое положение.
13. Включить стенд – переключатель  $S2$  в положение «/».
14. Произвести замыкание фазного провода  $B$  на корпус 2 переключателем  $S13$ .
15. Вольтметром с помощью гибких проводников измерить следующие напряжения:
  - напряжение корпуса 2 относительно земли  $U_k$  (гнезда  $X8$  и  $X2$ );
  - напряжение фазных проводов относительно земли  $U_a, U_b, U_c$  (гнезда  $X2$  и  $X15, X2$  и  $X14, X2$  и  $X13$ ).

Полученные значения занести в табл. 5.

16. *Измерить ток замыкания на землю  $I_3$* , установив переключатель амперметра в положение «А2», при этом загорается лампа, указывающая местоположение амперметра на схеме. Полученное значение заносится в табл. 5.

При переходе с одного предела измерения амперметра на другой необходимо дождаться установившегося показания прибора.

17. *Повторить действия 11...16 для сопротивления заземления  $R_{32}$* , равного соответственно 10 и 100 Ом.

18. *Переключатель амперметра установить* в положение «ОТКЛ».

19. *Выключить стенд* – переключатель S2 в положение «О».

### **2.2.2. Оценка эффективности действия защитного заземления в сети с заземленной нейтралью**

1. *Заземлить нейтраль источника тока* - переключатель S1 в правое положение.

2. *Подключить N и PE-проводники* к источнику питания – переключатели S3 и S4 в верхнее положение.

3. *Включить стенд* – перевести выключатель S2 в положение «I».

4. *Подключить корпус 2 к сети* - положение автомата S10 - «I» (корпус 1 отключён - положение автомата S5 – «О»).

5. Кнопкой S13 замкнуть фазный провод В на корпус 2.

6. *Вольтметром с помощью гибких проводников измерить следующие напряжения:*

- напряжение корпуса 2 относительно земли  $U_k$  (гнезда X8 и X2);

- напряжение нейтральной точки относительно земли  $U_0$  (гнезда X1 и X2). Полученные значения занести в табл. 6.

7. *Измерить ток замыкания на землю*, установив переключатель амперметра в положение «А2».

8. Заземлить корпус 2 – переключатель S15 в правое положение.

9. Повторить действия 4...6 для сопротивления заземления  $R_{32}$ , равного соответственно 4, 10 и 100 Ом (переключатель S11).

10. Вернуть переключатели в исходные позиции.

11. Отключить стенд – переключатель S2 в положение «О».

### 2.2.3. Влияние расстояния до заземлителя на напряжение прикосновения для сетей с изолированной нейтралью

1. Убедиться, что:

- переключатели S1, S9, S14, S15, S17 находятся в левом положении;

- переключатели S3, S4, S12 – в нижнем положении.

2. Установить значение сопротивления заземления  $R_{32}$  с помощью переключателя S11 равным 4 Ом.

3. Убедиться, что корпус 2 заземлен – переключатель S15 находится в правом положении и фазный провод В замкнут на корпус 2 переключателем S13.

4. Включить стенд – переключатель S2 в положение «I».

5. Вольтметром с помощью гибких проводников измерить напряжение прикосновения при различных расстояниях до заземлителя  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  (гнезда X8 и X9, X8 и X6, X8 и X5). Полученные значения занести в табл. 7.

6. Повторить действия 2...5 для сопротивления заземления  $R_{32}$ , равного соответственно 10 и 100 Ом.

7. Переключатель амперметра установить в положение «ОТКЛ».

8. Выключить стенд – переключатель S2 в положение «О».

Таблица 5

Оценка эффективности действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью

R <sub>32</sub> , Ом	Ra=Rb=Rc, кОм	Результаты измерений					Расчет	
		U <sub>к</sub> , В	U <sub>а</sub> , В	U <sub>б</sub> , В	U <sub>с</sub> , В	I <sub>з</sub> , А	U <sub>к</sub> , В	I <sub>з</sub> , А
Без заземления								
4								
10								
100								

Таблица 6

Оценка эффективности действия защитного заземления в сети с заземленной нейтралью

R <sub>32</sub> , Ом	Ra=Rb=Rc, кОм	Результаты измерений			Расчет	
		U <sub>к</sub> , В	U <sub>0</sub> , В	I <sub>з</sub> , А	U <sub>к.р</sub> , В	I <sub>з.р</sub> , А
-						
4						
10						
100						

Таблица 7

Зависимость напряжения от расстояния до заземлителя для сетей с изолированной нейтралью

R <sub>32</sub> , Ом	Ra=Rb=Rc, кОм	Результаты измерений				Расчет
		U <sub>к</sub> , В	U <sub>1</sub> , В	U <sub>2</sub> , В	U <sub>3</sub> , В	U <sub>к</sub> , В
4						
10						
100						

### 3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Обработать результаты измерений, представив их в виде таблиц. Отчет должен содержать принципиальные схемы исследуемых режимов, краткие выводы по каждому из разделов измерений.

Отчет выполняется в тетради или на отдельных листах и должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) изложение цели работы;
- 3) порядок выполнения работы (в виде блок-схемы);
- 4) принципиальные схемы исследуемых режимов;
- 5) результаты измерений и результаты расчета, представленные в табл. 5...7;
- 6) графики экспериментальных зависимостей:
  - напряжения на корпусе от сопротивления заземления для сетей с изолированной нейтралью  $U_k = f(R_{32})$ ,
  - напряжения на корпусе от сопротивления заземления для сетей с глухозаземленной нейтралью  $U_k = f(R_{32})$ ,
  - напряжения на корпусе от расстояния до заземлителя для сетей с изолированной нейтралью  $U_k = f(X)$ ;
- 7) выводы (по каждому этапу измерений).

## КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

**Выносное заземляющее устройство** – заземляющее устройство, при котором заземлитель вынесен за пределы площадки с размещенным заземляемым оборудованием, или сосредоточен на некоторой части этой площадки.

**Выравнивание потенциалов** – снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или путем применения специальных покрытий земли.

**Глухозаземленная нейтраль** – нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

**Двойная изоляция** – изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, состоящая из основной и дополнительной изоляций.

**Дополнительная изоляция** – независимая изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, выполняемая дополнительно к основной изоляции для защиты при косвенном прикосновении.

**Заземляющее устройство** – совокупность заземлителя (металлического проводника или группы соединенных между собой металлических проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей) и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части с заземлителем.

**Зануление** – преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

**Защитное заземление** – преднамеренное электрическое соединение с землей (или ее эквивалентом) металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.



**Защитное электрическое разделение цепей** – отделение одной электрической цепи от других цепей в электроустановках напряжением до 1 кВ с помощью: двойной изоляции; основной изоляции и защитного экрана; усиленной изоляции.

**Изолированная нейтраль** – нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление приборов сигнализации, измерения, защиты и других аналогичных им устройств.

**Клиническая (мнимая) смерть** – переходный период от жизни к смерти, наступающий с момента прекращения работы сердца и органов дыхания. Длительность клинической смерти составляет в большинстве случаев 4...5 мин (в некоторых случаях 7...8 мин), определяется временем с момента прекращения сердечной деятельности и дыхания до начала гибели клеток коры головного мозга.

**Контурное заземляющее устройство** – заземляющее устройство, при котором одиночные заземлители размещаются по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, или распределяются на всей площадке (зоне обслуживания оборудования) равномерно.

**Линейное напряжение** – напряжение между фазными проводниками сети.

**Напряжение прикосновения** – напряжение между двумя точками цепи, которых одновременно касается человек, иначе говоря, падение напряжения в сопротивлении тела человека.

**Нейтраль** – общая (нейтральная) точка соединенных в звезду обмоток (элементов) электрооборудования, напряжения которой относительно внешних выводов обмотки одинаковы по абсолютному значению.

**Неотпускающий ток** — электрический ток, вызывающий при прохождении через организм человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник (электрод).

**Нулевой проводник** – это проводник, соединенный с глухозаземленной нейтралью, предназначенный либо для питания потребителей электроэнергии, либо для присоединения к открытым проводящим частям.

**Нулевой рабочий проводник (*N* – проводник)** – нулевой проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников.

**Нулевой защитный проводник (*PE* – проводник)** – нулевой проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, предназначенный для присоединения к открытым проводящим частям с целью обеспечения электробезопасности.

**Опасность** – негативное свойство живой и неживой материи, способное причинять ущерб самой материи: людям, природной среде, материальным ценностям. Опасности реализуются в виде потоков энергии, вещества и информации, они существуют в пространстве и во времени. Многие опасности носят скрытый (потенциальный) характер.

**Основная изоляция** – изоляция токоведущих частей, обеспечивающая в том числе защиту от прямого прикосновения.

**Открытые проводящие части** – доступные прикосновению проводящие части электроустановки, нормально не находящиеся под напряжением, но которые могут оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

**Ощутимый ток** – электрический ток, вызывающий при прохождении через организм человека ощутимые раздражения.

**Переменный ток** – электрический ток, изменяющийся во времени по величине и/или направлению. На практике чаще используют переменный синусоидальный ток.

**Постоянный ток** – электрический ток, не изменяющийся во времени.

**Проводящие части** – части, которые могут проводить электрический ток.

**Рабочее заземление** – преднамеренное заземление отдельных точек электрической цепи, например нейтральных точек обмоток генераторов, трансформаторов, а также фазы при использовании земли в качестве фазного или обратного провода.

**Сверхнизкое (малое) напряжение (СНН)** – напряжение, не превышающее 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

**Ток замыкания на землю** – ток, проходящий через место замыкания в землю.

**Токоведущие части** – проводники или проводящие части, предназначенные для работы под напряжением в нормальном режиме, включая нулевой рабочий проводник.

**Усиленная изоляция** – изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, равноценную двойной изоляции.

**Фазное напряжение** – напряжение между началом и концом обмотки источника тока (трансформатора, генератора) или между фазным и нулевым проводами.

**Шаговое напряжение (напряжение шага)** – напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися на расстоянии шага (0,8...1,0 м), на которых одновременно стоит человек.

**Электрический ток** – направленное (упорядоченное) движение заряженных частиц: электронов, ионов и др. Условно за направление электрического тока принято направление движения положительных зарядов.

**Электроустановка** – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Евстигнеева, Н.А. Анализ электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В : методические указания к лабораторной работе по курсу «Безопасность жизнедеятельности» / Н.А. Евстигнеева – М.:МАДИ(ГТУ), 2005.– 52с.
2. ГОСТ 12.1.019-79\*. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Введен 1979-17-07. – М.: Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2000. – 8 с.
3. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок : утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 №204 : 7-е и 6-е издание / ДЕАН. – 2008. – 1168 с.
4. ГОСТ Р 12.4.026-2001. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. – Введен 2001-19-09. – М.: Госстандарт России : Изд-во стандартов, 2002. – 72 с.
5. Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для вузов / под ред. Л.А. Муравья. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. - 431 с.
6. Средства защиты в машиностроении: Расчет и проектирование: справочник / С.В. Белов и др. : под ред. С.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1989. - 368 с.

В книге было указано 8 авторов

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	4
1.1. Основные причины поражения человека электрическим током. Обеспечение защиты от поражения человека током .....	4
1.2. Защитное заземление .....	8
1.3. Требования к защитному заземлению .....	11
1.4. Применение заземления в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью .....	12
1.5. Заземляющие устройства .....	17
1.5.1. Заземлители .....	17
1.5.2. Заземляющие проводники .....	19
1.6. Исполнение и размещение заземляющих устройств .....	20
2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ .....	25
2.1. Описание лабораторного стенда БЖ 6/2 .....	25
2.2. Порядок выполнения работы .....	29
2.2.1. Оценка эффективности действия защитного заземления в сети с изолированной нейтралью .....	29
2.2.2. Оценка эффективности действия защитного заземления в сети с заземленной нейтралью .....	31
2.2.3 Влияние расстояния до заземлителя на напряжение прикосновения для сетей с изолированной нейтралью .....	32
3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА .....	34
КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ .....	35
ЛИТЕРАТУРА .....	39

Редактор Ю.К. Фетисова

Тем. план 2009 г. № 19		
Подписано в печать	20.01.2010 г.	Формат 60x84/16
Печать офсетная	Усл. печ. л. 2,5	Уч.-изд. л. 2,0
Тираж 100 экз.	Заказ 98	Цена 25 руб.
Ротапринт МАДИ 125319, Москва, Ленинградский просп., 64		