

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

# **«ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ» КОМПЛЕКТ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия  
Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета*

Учебное пособие

Издательство  
Томского политехнического университета  
2009

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ И ЕЕ НЕЙТРАЛИ НА УСЛОВИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

### Цель работы

Оценить опасность поражения электрическим током в зависимости от:

- напряжения и схемы питания электроустановок,
- режима нейтрали,
- сопротивления элементов электрической сети,
- условий включения человека в цепь.

### Общие сведения

Режим нейтрали трехфазной сети выбирается по технологическим требованиям и условиям безопасности. Согласно ПУЭ, при напряжении выше 1 кВ применяются две схемы: трехпроводные сети с изолированной нейтралью и трехпроводные сети с эффективно заземленной нейтралью. При напряжении до 1 кВ применяются трехпроводные сети с изолированной нейтралью и четырехпроводные сети с глухозаземленной нейтралью.

Нейтраль – это точка соединения обмоток питающего цепь трансформатора или генератора. Нейтраль может быть изолированной или заземленной.

Заземленной называется нейтраль, присоединенная к заземляющему устройству, либо непосредственно, либо через малое сопротивление.

Изолированной называется нейтраль либо не присоединенная к заземляющему проводу, либо соединенная с ним через большое сопротивление.

Анализируя различные случаи прикосновения человека к проводам трехфазных электрических сетей, можно сделать вывод, что наиболее опасным является двухфазное прикосновение при любом режиме нейтрали. В этом случае ток, проходящий через тело человека  $I_{\text{ч}}$ , определяется линейным напряжением  $U_{\text{л}}$  и сопротивлением его тела  $R_{\text{ч}}$ :

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{л}} / R_{\text{ч}} \quad (30)$$

$$U_{\text{л}} = 1,73U_{\text{ф}} \quad (31)$$

В трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью силу тока, проходящего через тело человека, при прикосновении к одной из фаз сети в период ее нормальной работы, определяют следующим выражением в комплексной форме:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{ч}} + Z/3}, \quad (32)$$

где  $Z$  – комплекс полного сопротивления одной фазы относительно земли, Ом;  $r$  – сопротивление изоляции провода относительно земли, Ом;  $C$  – емкость изоляции провода относительно земли, Ф.

Ток в действительной форме составит:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{ч}}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r(r+6R_{\text{ч}})}{9R_{\text{ч}}^2(r^2\omega^2C^2)}}} \quad (33)$$

Если емкость проводов относительно земли мала, что обычно имеет место в воздушных сетях небольшой протяженности, то уравнение примет вид

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{R_{\text{ч}} + r/3} = \frac{3U_{\Phi}}{3R_{\text{ч}} + r}, \quad (34)$$

где  $r$  – сопротивление изоляции, Ом.

Если же емкость велика, а проводимость изоляции незначительна, что обычно имеет место в кабельных сетях, то сила тока, проходящего через тело человека, будет равна

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\Phi}}{\sqrt{R^2 + (\chi_c/3)^2}}, \quad (35)$$

где  $\chi_c$  – емкостное сопротивление, Ом;  $\omega$  – угловая частота, рад/с.

В сетях с изолированной нейтралью, обладающих незначительной емкостью между проводами и землей, опасность для человека, прикоснувшегося к одной из фаз в период нормальной работы сети, зависит от сопротивления проводов относительно земли: с увеличением сопротивления опасность уменьшается. Поэтому очень важно в таких сетях обеспечивать высокое сопротивление изоляции и контролировать ее состояние для своевременного выявления и устранения возникших неисправностей. Однако в сетях с большой емкостью относительно земли

роль изоляции проводов в обеспечении безопасности прикосновения утрачивается, что видно из уравнений.

В трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью проводимость изоляции и емкостная проводимость проводов относительно земли малы по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, поэтому при определении силы тока, проходящего через тело человека, касающегося фазы сети, ими можно пренебречь.

При нормальном режиме работы сети сила тока, проходящего через тело человека, будет равна:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + r_o), \quad (36)$$

где  $r_o$  – сопротивление заземления нейтрали, Ом.

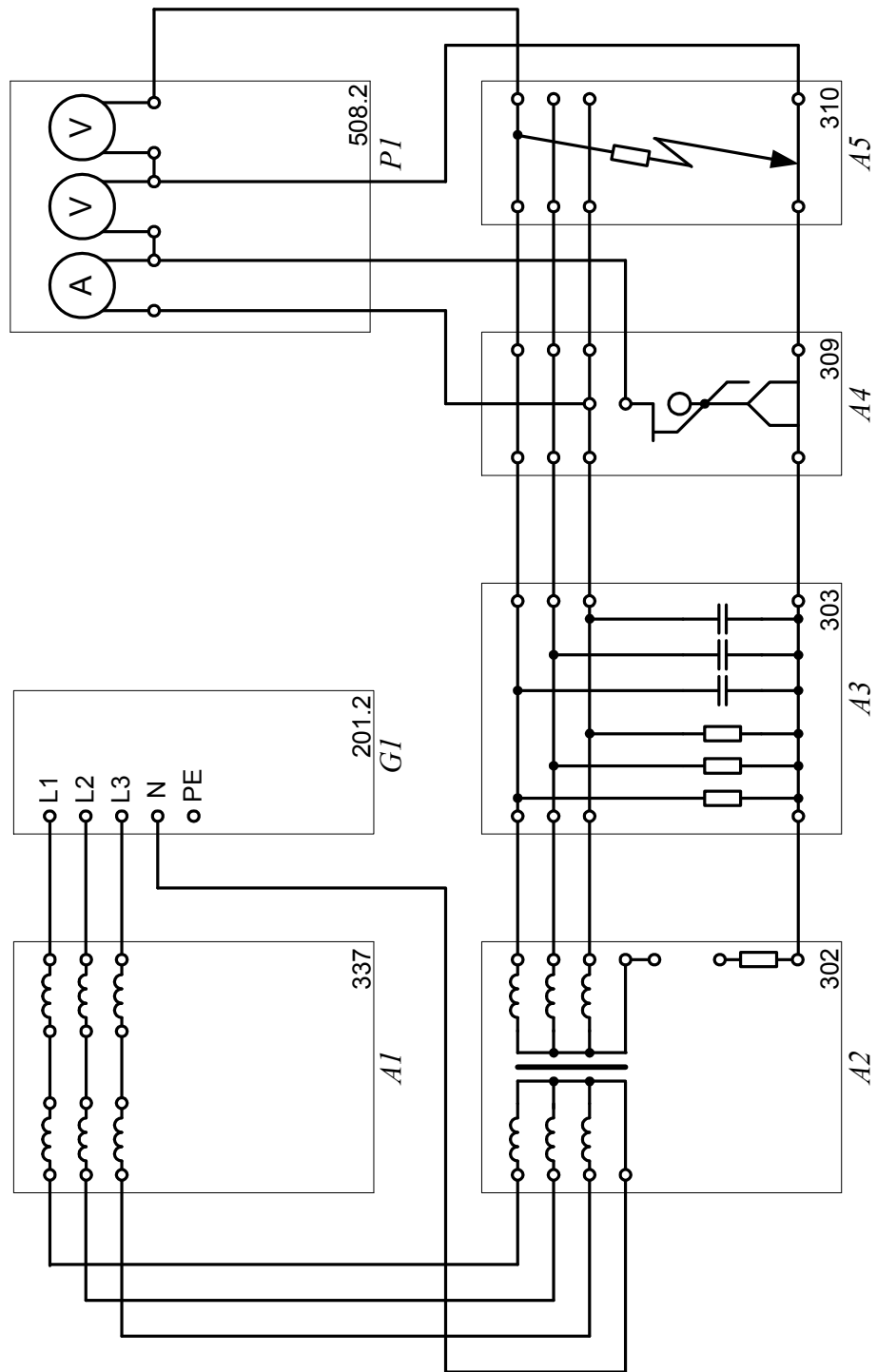
Как правило,  $r_o < 10$  Ом, сопротивление же тела человека  $R_{\text{ч}}$  не опускается ниже сотен Ом. Следовательно, без большой ошибки в уравнении можно пренебречь значением  $r_o$  и считать, что при прикосновении к одной из фаз трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью человек оказывается практически под фазным напряжением  $U_{\text{ф}}$ , а ток, проходящий через него, равен частному от деления  $U_{\text{ф}}$  на  $R_{\text{ч}}$ .

Отсюда следует, что прикосновение к фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью в период нормальной ее работы более опасно, чем прикосновение к фазе нормально работающей сети с изолированной нейтралью.

### Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A3	Модель участка электрической сети	303
A4	Модель человека	309
A5	Модель замыкания на землю	310
P1	Блок мультиметров	508.2

# Электрическая схема соединений



## Порядок проведения работы

Необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания. Гнезда защитного заземления «⊕» устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом «РЕ» источника G1. Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.

Моделируется электрическая сеть с изолированной нейтралью. Для этого между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя  $R_0$  в блоке трехфазного трансформатора А2 должна отсутствовать перемычка.

1. Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
2. Сопротивление замыкания на землю модели А5 устанавливается равным бесконечности  $R_{зам} = \infty$ .
3. Снимаются следующие зависимости тока через тело человека:  $I_h = f(R_{из})$ ,  $I_h = f(C)$ ,  $I_h = f(R_{обуви})$ ,  $I_h = f(R_{пола})$ . Измерения производятся при варьировании сопротивлений изоляции  $R_A = R_B = R_C$  и емкости  $C$  фаз модели А3, а также сопротивления обуви  $R_{обуви}$  и сопротивления пола  $R_{пола}$  модели А4.
4. С помощью амперметра и вольтметров блока P1 снимаются следующие зависимости: зависимость силы тока через тело человека от сопротивления замыкания  $I_h = f(R_{зам})$ , зависимость напряжения прикосновения от сопротивления замыкания фазы на землю  $U_{пр} = f(R_{зам})$ , зависимость напряжения прикосновения от сопротивления пола  $U_{пр} = f(R_{пола})$  и напряжения фаз электрической сети относительно земли  $U_A = f(R_{зам})$ ,  $U_B = f(R_{зам})$ ,  $U_C = f(R_{зам})$ .

Полученные результаты анализируются, и делается вывод о влиянии параметров в электрической сети с изолированной нейтралью на условия электробезопасности.

Далее моделируется электрическая сеть с глухозаземленной нейтралью. Для этого соединяется перемычкой гнездо нейтральной точки трансформатора и гнездо сопротивления заземлителя  $R_0$  в блоке трехфазного трансформатора А2.

5. Снимаются, аналогичные ранее снятым, зависимости тока через тело человека:  $I_h = f(R_{из})$ ,  $I_h = f(C)$ ,  $I_h = f(R_{обуви})$ ,  $I_h = f(R_{пола})$ .
6. Снимаются зависимости силы тока и напряжения прикосновения от сопротивления замыкания фазы на землю:

$I_h = f(R_{зам}), U_{пр} = f(R_{зам})$ . Измерения производятся при варьировании сопротивления замыкания на землю  $R_{зам}$  модели А5.

Полученные результаты анализируются, и делается вывод о влиянии параметров в электрической сети с глухозаземленной нейтралью на условия электробезопасности.

Снятые зависимости сопоставляются для различных режимов нейтрали, на основании чего делается вывод о влиянии режима нейтрали электрической сети на условия электробезопасности.

По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.

### **Требования к отчету**

В отчет по лабораторной работе вносится:

- Наименование и цель работы.
- Применяемые приборы и оборудование.
- Заполненные таблицы с необходимыми расчетными формулами.
- Общие выводы по результатам сделанной работы.

Результаты экспериментов заносятся в табл. 9,10.

Таблица 9

## Экспериментальная таблица

Сопротивление изоляции	Сопротивление пола	Сопротивление обуви	Сила тока, А	Напряжение, В
$R_A$				
$R_B$				
$R_C$				

Таблица 10

## Экспериментальная таблица

Емкость фаз	Сопротивление на землю, $R_{зам}$	Сила тока, А	Напряжение, В
$C_A$			
$C_B$			
$C_C$			



## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЯВЛЕНИЯ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКА В ЗЕМЛЮ ЧЕРЕЗ ЗАЩИТНЫЙ ЗАЗЕМЛИТЕЛЬ**

### **Цель работы**

Изучить зависимости, характеризующие явления при стекании тока в землю через защитный заземлитель.

### **Общие сведения**

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека или, иначе говоря, при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая значением тока, проходящего через тело человека, или же напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы замыкания цепи тока через тело человека, напряжение сети, схемой самой сети, режима ее нейтрали (т. е. заземлена или изолирована нейтраль), степени изоляции токоведущих частей от земли, а также от значений емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

Следовательно, указанная опасность не является однозначной: в одних случаях замыкание цепи тока через тело человека будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется не опасным, в других – токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Одной из основных причин несчастных случаев от электрического тока является появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, – на корпусах, кожухах, ограждениях и т. п.. Напряжение на этих частях может появиться как результат: повреждения изоляции токоведущих частей электрооборудования (вследствие механических воздействий, электрического пробоя, естественного старения и т. п.); падения провода, находящегося под напряжением, на конструктивные части электрооборудования; замыкания фазы сети на землю. Опасность поражения током в этих случаях устраняется с помощью защитного заземления, зануления, защитного отключения, выравнивания потенциала, двойной изоляцией, а также благодаря применению малых напряжений

и специальных защитных средств – переносных приборов и приспособлений.

**Защитным заземлением** называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние, вынос потенциала и т. п.).

Принцип действия защитного заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения. Данное напряжение называется напряжением прикосновения  $U_{\text{пр}}$ . Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования, а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования, за счет появления потенциалов на поверхности земли при стекании тока в землю. Данные потенциалы возникают из-за сравнительно большого удельного сопротивления грунта ( $1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$  Ом м.) и уменьшаются по мере удаления от места стекания тока в землю. В непосредственной близости от места стекания тока в землю потенциал основания, на котором стоит человек, практически равен потенциалу заземленного оборудования. При этом разность потенциалов, определяющая напряжение прикосновения, минимальна. По мере удаления данного основания от места стекания тока в землю указанная разность потенциалов возрастает, то есть эффект выравнивания потенциалов ослабевает. При удалении человека от места стекания тока в землю на 20 метров и более напряжение прикосновения практически равно потенциалу корпуса электроустановки оказавшейся под напряжением.

Если корпус электрооборудования не заземлен, и он оказался в контакте с фазой, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно прикосновению к фазе. В этом случае величина тока в комплексной форме, проходящего через тело человека, прикоснувшегося к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью, определяется соотношением:

$$\bar{I}_ч = \bar{U}_ф / (R_ч + R_{об} + R_п + \bar{Z}_и / 3), \quad (37)$$

где  $\bar{I}_ч$ ,  $\bar{U}_ф$ ,  $\bar{Z}_и$  – комплексы тока, А, фазного напряжения, В и сопротивления изоляции одной фазы, Ом;  $R_ч$  – сопротивление тела человека, Ом;  $R_{об}$  – сопротивление обуви человека, Ом;  $R_п$  – сопротивление пола (основания), Ом.

При малом сопротивлении обуви, пола и изоляции проводов относительно земли этот ток может достигать опасных значений.

Для трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью (рис. 18) проводимость изоляции фазных проводов относительно земли пренебрежимо мала по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, поэтому величина тока через тело человека практически не зависит от сопротивления изоляции и равна

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_3), \quad (38)$$

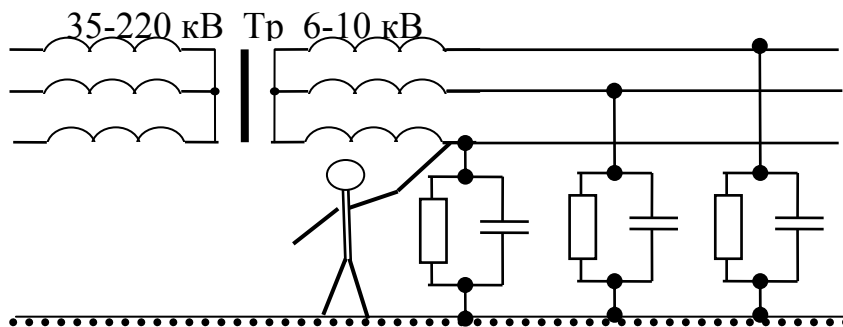


Рис. 18 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

Наиболее неблагоприятный случай будет, когда человек прикоснувшийся к фазе имеет на ногах токопроводящую обувь – сырую или подбитую металлическими гвоздями и стоит непосредственно на сырой земле или на проводящем основании – на металлическом полу, на заземленной металлической конструкции, т. е. когда можно принять  $R_{\text{об}}=0$  и  $R_{\text{п}}=0$ . Сопротивление заземления нейтрали  $R_0$  обычно во много раз меньше сопротивления тела человека (как правило,  $R_0$  не превышает 10 Ом) и им можно пренебречь. При этих условиях величина тока через тело человека достигает опасной величины. Например, при  $R_{\text{ч}}=1000$  Ом (вполне вероятная величина) и  $R_3=4$  Ом  $I_{\text{ч}}=220/(1000+4)\approx 0,22$  А.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя – металлических проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляющие части с заземлителем.

Заземлители бывают искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления и естественные, находящиеся в земле металлические предметы иного назначения.

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные электроды, т.е. одиночные заземлители.

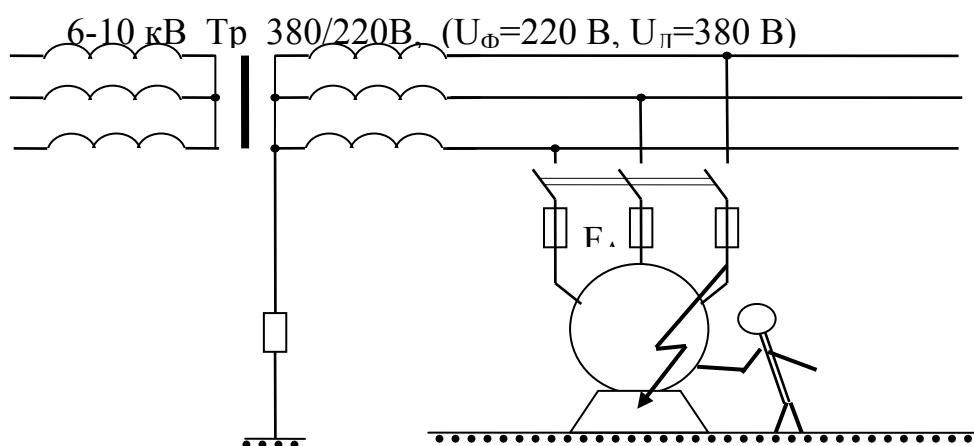


Рис. 19 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью

В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы диаметром 3–5 см и угловая сталь размером от 40×40 до 60×60 мм длиной 2,5–3 м, а также стальные прутки диаметром 10–12 мм и длиной до десяти метров.

Для соединения вертикальных электродов между собой и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяется полосовая сталь сечением не менее 4×12 мм или сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Для погружения в землю вертикальных электродов предварительно роют траншею глубиной 0,7–0,8 м, после чего их забивают и верхние концы соединяют стальной полосой с помощью сварки. В таких же траншеях прокладывают и горизонтальные электроды. Траншею засыпают землей, очищенной от строительного мусора, а затем тщательно утрамбовывают, что обеспечивает лучшую проводимость грунта, а следовательно, уменьшает расход металла на устройство заземления.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляющего оборудования различают два типа заземляющих устройств (ЗУ) – выносное ЗУ и контурное ЗУ. У выносного ЗУ заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование. Это приводит к тому, что практически не происходит выравнивание потенциала основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования. Эффективность применения такого ЗУ обусловлена только снижением потенциала заземленного оборудования. При этом оказывается несущественным число и схема расположения заземляющих электродов, рис. 20.

При замыкании фазы на корпус и стекании тока  $I_3$  через заземлитель  $\varphi_3(X)$  достигает максимума в точке поверхности над заземлителем и практически затухает через 20 метров. При этом на руку человека, прикоснувшегося к корпусу электрооборудования, действует потенциал заземлителя  $\varphi_3$ , а ноги находятся под потенциалом, близким к нулю. Напряжение прикосновения  $U_{\text{пр}}$ , равное разности потенциалов руки и ног, в данном случае практически равно  $\varphi_3$ .

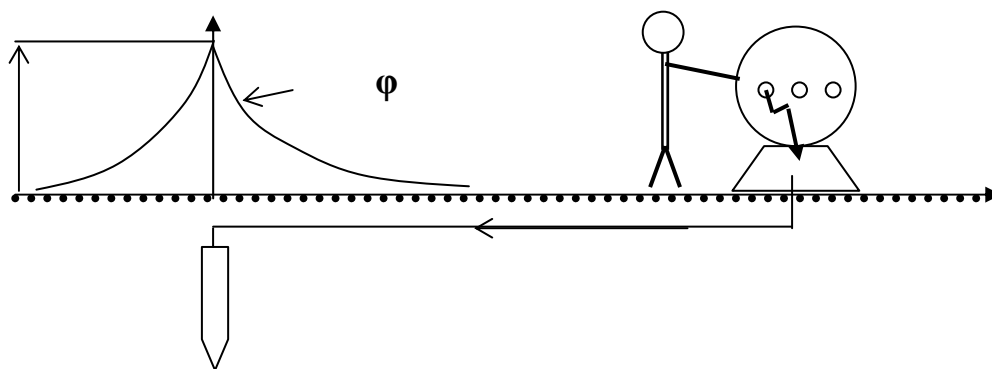


Рис. 20 – Выносной (сосредоточенный) заземлитель

Контурные ЗУ характеризуются по возможности равномерным размещением заземляющих электродов по площадке, на которой установлено электрооборудование. Такое ЗУ называется распределенным. Снижение напряжения прикосновения в этом случае обусловлено не только перераспределением падения напряжения источника, но и выравниванием потенциалов заземленного корпуса электроустановки и основания, на котором стоит человек, как это показано на рис. 20. При этом распределения потенциалов отдельных заземлителей складываются, получается суммарное распределение потенциала  $\varphi_{3\Sigma}(X)$ . Таким образом, потенциалы в точках рабочей площадки по своей величине приближаются к потенциалу заземленного корпуса оборудования, поэтому напряжение прикосновения  $U_{\text{пр}}$  значительно уменьшается и составляет доли  $\varphi_3$ .

В качестве естественных заземлителей могут использоваться: проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов); обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций зданий и сооружений, имеющие соединение с землей; металлические шпунты гидротехнических сооружений; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

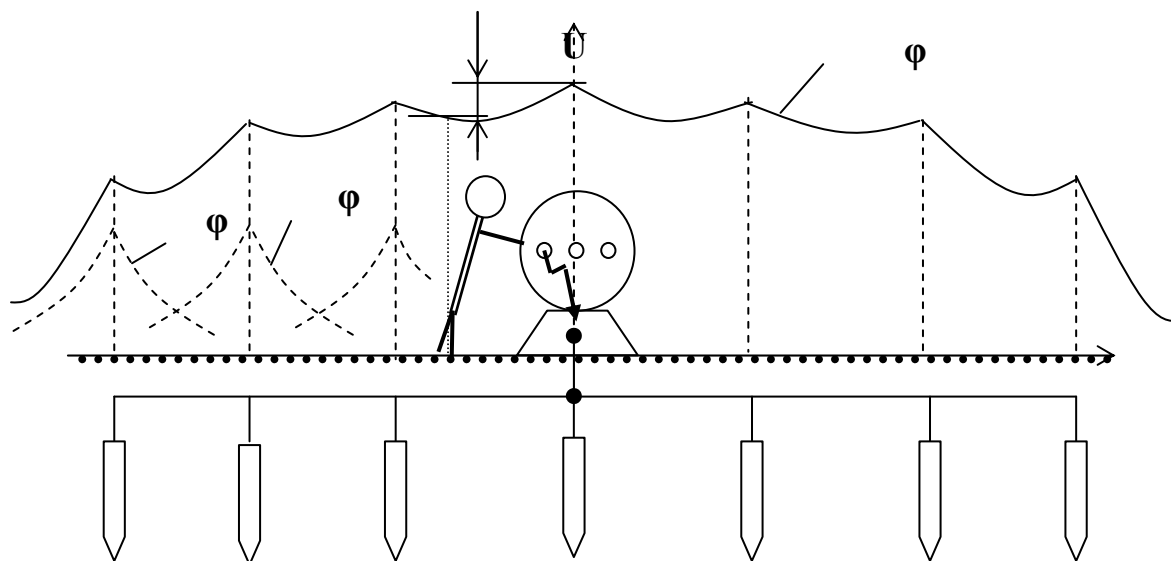


Рис. 21 – Случай контурного (распределенного) заземлителя

Алюминиевые оболочки кабелей и алюминиевые проводники не допускается использовать в качестве естественных заземлителей.

В электрических распределительных устройствах высокого напряжения в качестве естественного заземлителя используется заземление опор отходящих воздушных линий с грозозащитными тросами при условии, что тросы не изолированы от опор.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, поэтому использование их для целей заземления экономически весьма целесообразно.

Заземляющие проводники, т. е. проводники, соединяющие заземляемое оборудование с заземлителем выполняются обычно из полосовой стали. Прокладка их производится по стенам и другим конструкциям зданий. В качестве заземляющих проводников допускается использовать различные металлические конструкции.

Присоединение заземляемого оборудования к магистралям заземления, т. е. к основному заземляющему проводнику, идущему от заземлителя, осуществляется с помощью отдельных проводников. При этом последовательное включение заземляемого оборудования не допускается.

Соединения заземляющих проводников между собой, а также заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняются, как правило, сваркой, а с корпусами аппаратов, машин и другого оборудования – сваркой или с помощью болтов.

Отличительной окраской заземляющей сети является черный цвет, которым должны быть окрашены все открыто расположенные заземляющие проводники, конструкции и полосы сети заземления.

Область применения защитного заземления – трехфазные сети до 1 кВ с изолированной нейтралью и выше 1 кВ. с любым режимом работы нейтрали.

Требования к устройству защитного заземления и зануления определены Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), в соответствии с которыми защитному заземлению или занулению подлежат все металлические и другие токопроводящие части электроустановок и оборудования, которые случайно в аварийном режиме могут оказаться под напряжением (ССБТ ГОСТ 12.1.030–81):

- при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока, 440 В и выше постоянного тока – во всех электроустановках;

- при номинальном напряжении выше 42 В, но ниже 380 В переменного тока и выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока – только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных помещениях и в наружных электроустановках;

- во взрывоопасных помещениях необходимо заземлять все оборудование независимо от напряжения.

При номинальных напряжениях менее 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока заземления или зануления электроустановок не требуется.

Для заземления установок, которые питаются от одной сети, целесообразно проектировать общее заземляющее устройство. Если имеется несколько заземляющих устройств, они должны быть электрически соединены между собой.

Для осуществления эффективной защиты величина сопротивления защитного заземления не должна превышать значений, при которых напряжение прикосновения или шаговое напряжение достигают опасных величин (табл. 11).

Таблица 11

**Максимально допустимые значения сопротивления защитного заземления в зависимости от характеристик электрических сетей**

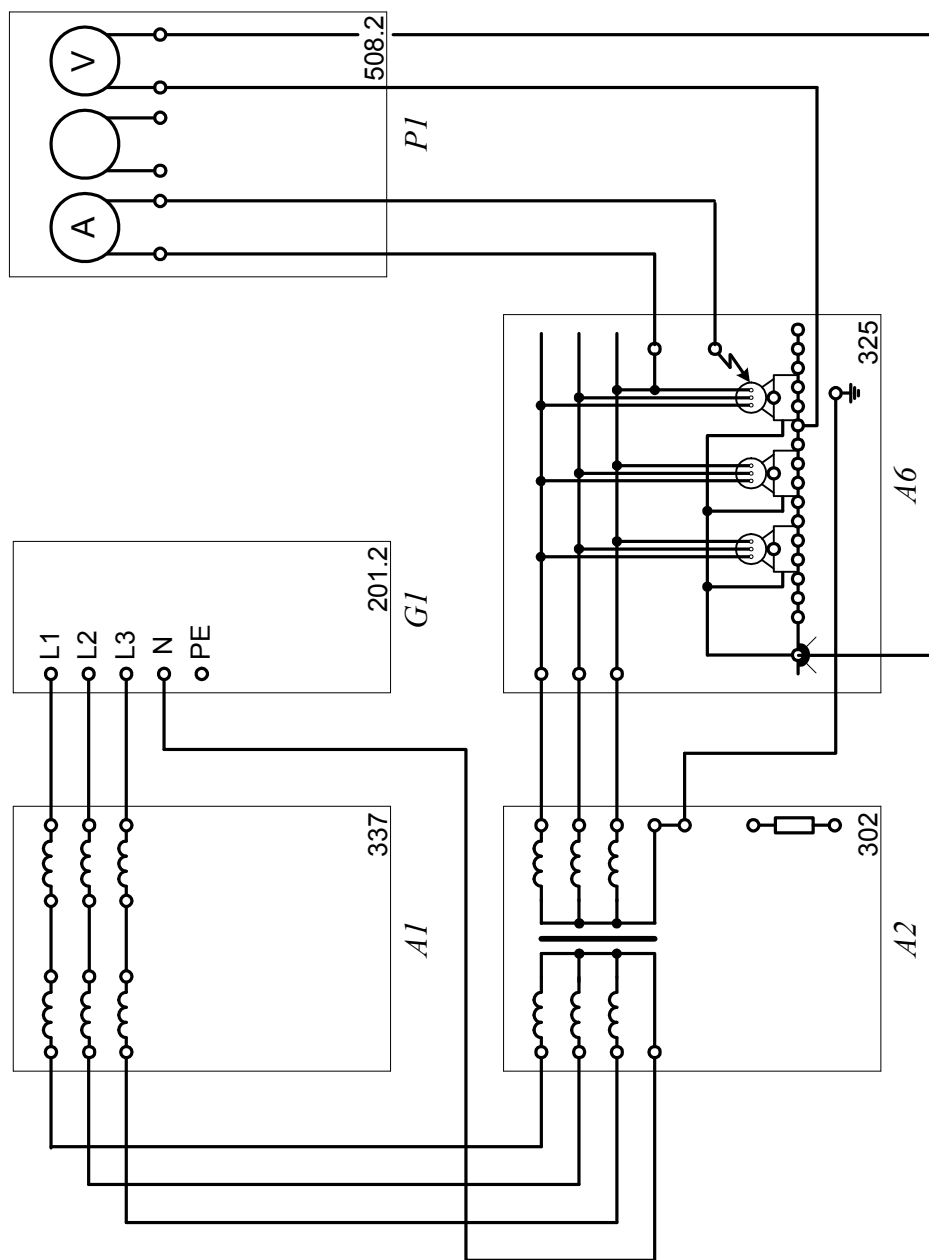
Допустимое сопротивление заземляющего устройства R, Ом	Характеристика электроустановок
Электроустановки напряжением до 1000 В (нейтраль изолирована)	
4	Для электроустановок мощностью источника более 100 кВА
10	Для электроустановок при мощности генераторов и трансформаторов до 100 кВА
125/I <sub>з</sub> , но не более 10 (I <sub>з</sub> расчетный ток замыкания на землю, А)	Если заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до 1000 В и выше 1000 В
Электроустановки напряжением выше 1000 В	
250/I <sub>з</sub> , но не более 10	Если заземляющее устройство используется в сети с изолированной нейтралью
0,5	Если заземляющее устройство используется в сети с эффективно заземленной нейтралью

**Перечень оборудования**

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A6	Модель заземлителя с полусферическим электродом	325
	Модель заземлителя с вертикальным трубчатым электродом	326
	Модель заземлителя с протяженным трубчатым электродом на поверхности	327
P1	Блок мультиметров	508.2



Электрическая схема соединений



## Порядок проведения работы

Первоначально в эксперименте используется, например, модель А6 заземлителя с полусферическим электродом (код 325). Перед началом выполнения лабораторной работы необходимо убедиться в том, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

- Гнезда защитного заземления « $\text{⊕}$ » устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом «РЕ» источника G1.
- Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.
- Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- При заданных сопротивлениях грунта  $\rho$  модели заземлителя А6, снимаются с помощью вольтметра блока P1 зависимости от расстояния  $x$ : потенциала основания электрооборудования  $\varphi_{\text{осн}} = f(x)$  (вольтметр включается между гнездом «L» и гнездами, соответствующими расстоянию  $x$ ), напряжения прикосновения  $U_{\text{пр}} = f(x)$  (вольтметр включается между гнездом «0» и гнездами, соответствующими расстоянию  $x$ ), шагового напряжения  $U_{\text{ш}} = f(x)$  (вольтметр включается между соседними гнездами, соответствующими расстоянию  $x$ ).
- Ток стекания в землю контролируется с помощью амперметра блока P1. Он не должен превышать **0,5 А!**
- Источник G1 отключается, и производится замена в электрической схеме: модель А6 заземлителя с полусферическим электродом (код 325) на модель А6 заземлителя с вертикальным трубчатым электродом (код 326).
- Включается источник G1 и вновь снимаются вышеупомянутые зависимости.
- Еще раз отключается источник G1 и производится замена в электрической схеме: модель А6 заземлителя с вертикальным трубчатым электродом (код 326) на модель А6 заземлителя с протяженным трубчатым электродом на поверхности (код 327).
- Вновь включается источник G1 и в третий раз снимаются зависимости  $\varphi_{\text{осн}} = f(x)$ ,  $U_{\text{пр}} = f(x)$ ,  $U_{\text{ш}} = f(x)$ .
- По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.
- Полученные зависимости используются для формулирования выводов о влиянии на электробезопасность типа заземлителя, удельного

сопротивления грунта, в котором он заложен, и расстояния от заземлителя до места установки защищаемого электрооборудования.

# **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА**

## **Цель работы**

1. Изучить основные факторы, влияющие на тяжесть поражения человека электрическим током.
2. Исследовать изменение сопротивления тела человека в зависимости от площади контакта при различной частоте электрического тока.

## **Общие сведения**

Проходя через организм, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое действия.

Термическое действие выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов, нервов и других тканей.

Электролитическое действие выражается в разложении крови и других органических жидкостей, что вызывает значительные нарушения их физико-химических составов.

Биологическое действие выражается в возбуждении живых тканей организма (что сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц), а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в нормально действующем организме и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями. В результате могут возникнуть различные нарушения в организме, в том числе нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения. Раздражающее действие тока на ткани организма может быть прямым, когда ток проходит непосредственно по этим тканям, и рефлекторным, т.е. через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этих тканей.

Исход воздействия тока зависит от множества факторов, в том числе от значения и длительности протекания через тело человека тока, рода и частоты тока и индивидуальных свойств человека. Электрическое сопротивление тела человека и приложенное к нему напряжение влияют на исход поражения, но лишь постольку, поскольку они определяют значение тока, проходящего через тело человека.

Электрическое сопротивление тела человека складывается из сопротивления кожи и сопротивления внутренних тканей.

Кожа, вернее ее верхний слой, называемый эпидермисом, имеющий толщину до 0,2 мм и состоящий в основном из мертвых ороговевших клеток, обладает большим сопротивлением, которое и определяет общее сопротивление тела человека. Сопротивление нижних слоев кожи и внутренних тканей человека незначительно. При сухой чистой и неповрежденной коже сопротивление тела человека колеблется в пределах 2 кОм – 2 МОм. При увлажнении и загрязнении кожи, а также при повреждении кожи (под контактами) сопротивление тела оказывается наименьшим – около 500 Ом, т. е. доходит до значения, равного сопротивлению внутренних тканей тела. При расчетах сопротивление тела человека принимается равным 1 кОм.

Значение тока, протекающего через тело человека, является главным фактором, от которого зависит исход поражения: чем больше ток, тем опаснее его действие. Человек начинает ощущать протекающий через него ток промышленной частоты (50 Гц) относительно малого значения: 0,6–1,5 мА. Этот ток называется пороговым ощутимым током.

Ток 10–15 мА (при 50 Гц) вызывает сильные и весьма болезненные судороги мышц рук, которые человек преодолеть не в состоянии, т. е. он не может разжать руку, которой касается токоведущей части, не может отбросить провод от себя и оказывается как бы прикованным к токоведущей части. Такой ток называется пороговым неотпускающим.

При 25–50 мА действие тока распространяется на мышцы грудной клетки, что приводит к затруднению и даже прекращению дыхания. При длительном воздействии этого тока – в течение нескольких минут – может наступить смерть вследствие прекращения работы легких.

При 100 мА ток оказывает непосредственное влияние также и на мышцу сердца; при длительности протекания более 0,5 секунд ток может вызвать остановку или фибрилляцию сердца, т.е. быстрые хаотические и разновременные сокращения волокон сердечной мышцы (фибрилл), при которых сердце перестает работать как насос. В результате в организме прекращается кровообращение и наступает смерть. Этот ток называется фибрилляционным.

Длительность протекания тока через тело человека влияет на исход поражения вследствие того, что со временем резко повышается ток за счет уменьшения сопротивления тела и накапливаются отрицательные последствия воздействия тока на организм.

Род и частота тока в значительной степени определяют исход поражения. Наиболее опасным является переменный ток с частотой 20–100 Гц. При частоте меньше 20 или больше 100 Гц опасность поражения током заметно снижается.

Токи частотой свыше 0,5 МГц не оказывают раздражающего действия на ткани и поэтому не вызывают электрического удара. Однако они могут вызвать термические ожоги.

При постоянном токе пороговый ощутимый ток повышается до 6–7 мА, пороговый неотпускающий ток – до 50–70 мА, а фибрилляционный при длительности воздействия более 0,5 секунд – до 300 мА.

Индивидуальные свойства человека – состояние здоровья, подготовленность к работе в электрической установке и другие факторы – также имеют значение для исхода поражения. Поэтому обслуживание электроустановок поручается лицам, прошедшим медицинский осмотр и специальное обучение.

### Перечень аппаратуры

Наименование	Тип
Устройство для исследования сопротивления тела человека	341

### Порядок проведения работы

1. С помощью сетевого шнура устройство для исследования сопротивления тела человека (код 341) подключается к трехпроводной электрической сети 220 В.
2. Оперирова кнопками на поле «ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ» по индикатору выставляются требуемые напряжение  $U$  и частота  $f$ , например, 6,0 В и 15 кГц.
3. Ладони рук порознь прикладываются к двум электродам с площадью контактной поверхности  $S=1250 \text{ мм}^2$  и с верхнего индикатора считывается величина тока  $I_h$ , протекающего через тело человека.
4. Затем ладони рук порознь прикладываются к двум электродам с площадью контактной поверхности  $S=2500 \text{ мм}^2$  и с верхнего индикатора считывается величина тока  $I_h$ , протекающего через тело человека.
5. Рассчитывается электрическое сопротивление тела человека  $Z_h = U/I_h$  при различной площади контактных поверхностей. На основании расчетов делается вывод о влиянии площади контактной поверхности на сопротивление человека.
6. Снимается зависимость силы тока через тело человека от частоты тока,  $I_h(f)$ .

7. Рассчитывается зависимость электрического сопротивления тела человека от частоты  $Z_h(f) = U / I_h(f)$ .
8. По завершении эксперимента питание устройства для исследования сопротивления тела человека (код 341) отключается.

### **Требования к отчету**

- По п.п. 2–4 необходимо отразить величины тока  $I_h$  протекающего через человека при различных величинах напряжения  $U$  и частоты  $f$ , в зависимости от величины контактной поверхности  $S$ .
- По п. 5 необходимо рассчитать электрическое сопротивление тела человека  $Z_h = U/I_h$  во всех случаях.
- По п. 6 необходимо построить графические зависимости протекающего через тело человека тока от частоты  $I_h(f)$ , при различной величине контактной поверхности  $S$ .
- Необходимо сделать выводы по всем выполненным экспериментам.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАНУЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

## Цель работы

Изучить на лабораторном стенде принцип работы защитного зануления, назначение элементов зануления (зануления нейтрали источника питания, соединения корпуса электроустановки с нулевым проводником, повторного заземления нулевого проводника)

## Общие сведения

*Зануление* – это преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей электроустановок с глухозаземленной нейтральной точкой 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.

Для соединения открытых проводящих частей потребителя электроэнергии с глухозаземленной нейтральной точкой источника используется нулевой защитный проводник.

Нулевым защитным проводником (**РЕ** – проводник в системе **TN – S**) называется проводник, соединяющий зануляемые части (открытые проводящие части) с глухозаземленной нейтральной точкой источника питания трехфазного тока или с заземленным выводом источника питания однофазного тока, или с заземленной средней точкой источника питания в сетях постоянного тока.

Нулевой защитный проводник следует отличать от нулевого рабочего и **PEN** – проводников.

Нулевой рабочий проводник (**N** – проводник в системе **TN – S**) – проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников соединенный с глухозаземленной нейтральной точкой генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

Совмещенный (**PEN** – проводник в системе **TN – C**) нулевой защитный и нулевой рабочий проводник – проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводника.



Зануление необходимо для обеспечения защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении за счет снижения напряжения корпуса относительно земли и быстрого отключения электроустановки от сети.

Область применения зануления:

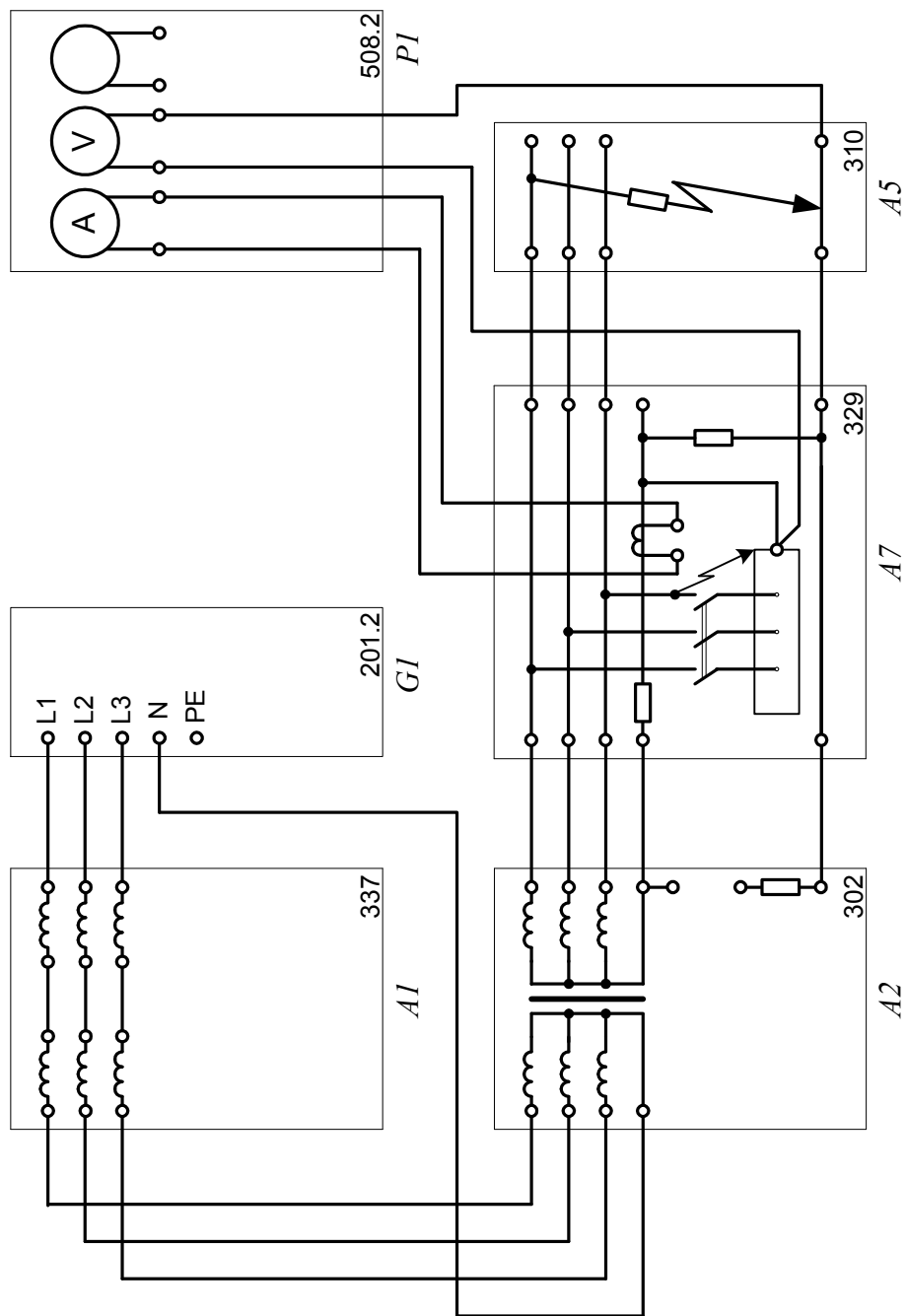
- электроустановки напряжением до 1 кВ в трехфазных сетях переменного тока с заземленной нейтралью (система TN – S; обычно это сети 220/127, 380/220, 660/380 В);
- электроустановки напряжением до 1 кВ в однофазных сетях переменного тока с заземленным выводом;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях постоянного тока с заземленной средней точкой источника.

*Принцип действия зануления.* При замыкании фазного провода на зануленный корпус электропотребителя образуется цепь тока однофазного короткого замыкания (то есть замыкания между фазным и нулевым защитным проводниками). Ток однофазного короткого замыкания вызывает срабатывание максимальной токовой защиты, в результате чего происходит отключение поврежденной электроустановки от питающей сети. Кроме того, до срабатывания максимальной токовой защиты происходит снижение напряжения поврежденного корпуса относительно земли, что связано с защитным действием повторного заземления нулевого защитного проводника и перераспределением напряжений в сети при протекании тока короткого замыкания.

### Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A5	Модель замыкания на землю	310
A7	Модель зануления	329
P1	Блок мультиметров	508.2

Электрическая схема соединений



## Порядок проведения работы

1. Перед началом работы необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Гнезда защитного заземления « $\oplus$ » устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом «РЕ» источника G1.
3. Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.
4. В модели А5 сопротивление замыкания на землю устанавливается равным бесконечности:  $R_{\text{зам}} = \infty$ .
5. Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
6. Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируется установкой (отсутствием) переключки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя  $R_0$  в блоке трехфазного трансформатора А2.
7. Замыкание фазы на корпус электрооборудования моделируется установкой выключателя S в положение «ВКЛ.».
8. Ток короткого замыкания измеряется с помощью амперметра блока мультиметров P1.
9. При величинах сопротивления цепи короткого замыкания  $R_N = 1, 2, 3$  Ом и возникновении короткого замыкания фазы на корпус электрооборудования (выключатель S включен) защита отключает электрооборудование от сети, что проявляется в отсутствии свечения светодиодов в фазах подходящих к нему проводов.
10. При величинах сопротивления цепи короткого замыкания  $R_N = 5, 10, 15, 20$  Ом и возникновении короткого замыкания фазы на корпус электрооборудования (выключатель S включен) защита не отключает электрооборудование от сети, что проявляется в наличии свечения светодиодов в фазах подходящих к нему проводов.
11. Наличие повторного заземления моделируется установкой любого его значимого сопротивления.
12. Напряжение на корпусе электрооборудования измеряется с помощью вольтметра блока мультиметров P1.
13. Сопротивление замыкания на землю « $R_{\text{зам}} \neq \infty$ » устанавливается только при моделировании режима изолированной нейтрали питающей электрической сети.
14. По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.

### Требования к отчету

1. По п. 9 необходимо отразить результат замыкания на землю через  $R_N = 1, 2, 3$  Ом и срабатывания защиты.
2. По п. 10. необходимо описать действие защитного зануления при величинах сопротивления цепи короткого замыкания  $R_N = 5, 10, 15, 20$  Ом, акцентируя внимание на проявление действия защитного зануления.
3. По п. 11 необходимо описать влияние на действие зануления сопротивления повторного заземления нулевого проводника.
4. Необходимо сделать выводы по всем выполненным экспериментам согласно указаниям по проведению эксперимента.

# **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ**

## **Цель работы**

Научиться контролировать неисправность изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью.

## **Общие сведения**

Безопасность при работе с электроустановками обеспечивается применением различных технических и организационных мер. Они регламентированы действующими правилами устройства электроустановок (ПУЭ, 2001).

Конструкция, исполнение, способ установки, класс и характеристики изоляции применяемых машин, аппаратов, приборов и прочего электрооборудования, а также кабелей и проводов должны соответствовать параметрам сети или электроустановки, режимам работы, условиям окружающей среды и требованиям соответствующих глав ПУЭ.

Изоляция токоведущих частей (защитное изолирование) – способ защиты от прикосновения к токоведущим частям. Принцип его действия основан на покрытии токоведущих частей изоляционным материалом. Изоляция токопроводящих частей – одна из основных мер электробезопасности.

В сетях переменного тока выше 1 кВ с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью, в сетях переменного тока до 1 кВ с изолированной нейтралью и в сетях постоянного тока с изолированными полюсами или с изолированной средней точкой, как правило, должен выполняться автоматический контроль изоляции, действующий на сигнал при снижении сопротивления изоляции одной из фаз (или полюса) ниже заданного значения, с последующим контролем асимметрии напряжения при помощи показывающего прибора (с переключением).

Допускается осуществлять контроль изоляции путем периодических измерений напряжений с целью визуального контроля асимметрии напряжения.

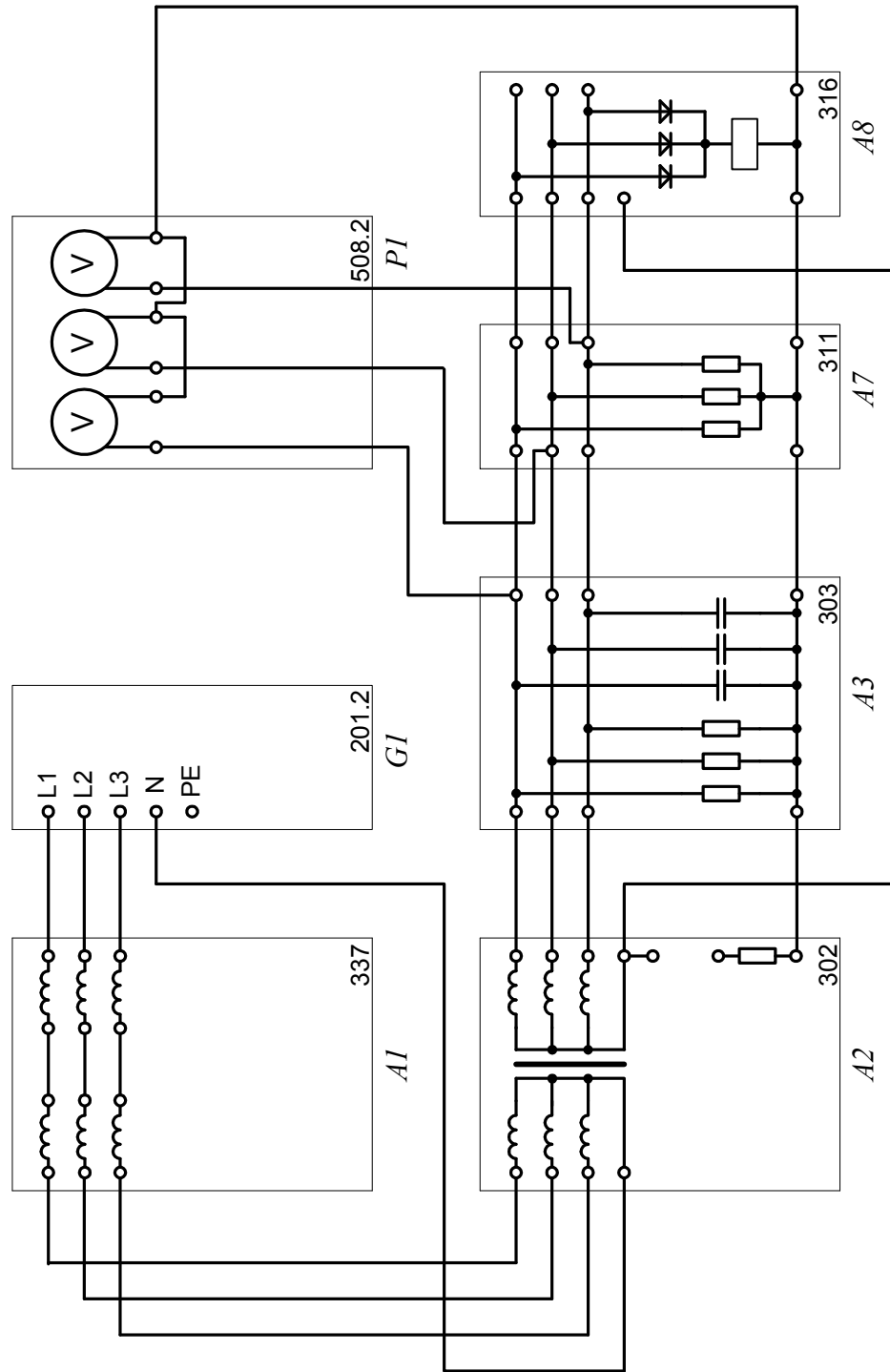
Согласно ПУЭ сопротивление изоляции токопроводящих частей электрических установок относительно земли должно быть не менее 0,5–10 МОм. Различают рабочую, двойную и усиленную рабочую изоляцию.

Рабочей называется изоляция, обеспечивающая нормальную работу электрической установки и защиту персонала от поражения электрическим током. Двойная изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной, используется в тех случаях, когда требуется обеспечить повышенную электробезопасность оборудования (например, ручного электроинструмента, бытовых электрических приборов и т. д.). Сопротивление двойной изоляции должно быть не менее 5 МОм, что в 10 раз превышает сопротивление обычной рабочей. В ряде случаев рабочую изоляцию выполняют настолько надежно, что ее электросопротивление составляет не менее 5 МОм и потому она обеспечивает такую же защиту от поражения током, как и двойная изоляция. Такую изоляцию называют усиленной рабочей изоляцией.

### **Перечень аппаратуры, используемой в лабораторной работе**

<b>Обозначение</b>	<b>Наименование</b>	<b>Тип</b>
G1	Трхфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A3	Модель участка электрической сети	303
A7	Модель сопротивления изоляции	311
A8	Устройство контроля изоляции	316
P1	Блок мультиметров	508.2

# Электрическая схема соединений



## Порядок проведения работы

- Перед началом работы необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Гнезда защитного заземления « $\oplus$ » устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом «РЕ» источника G1.
- Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.
- Емкости фаз модели А3 устанавливаются равными нулю  $C_A = C_B = C_C = 0$ .
- Устанавливаются желаемые сопротивления  $R_A, R_B, R_C$  изоляции фаз модели А3 и сопротивления  $R$  изоляции модели А7.
- Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- С помощью вольтметров блока мультиметров P1 измеряются напряжения фаз электрической сети. По ним судят о соотношении сопротивлений изоляции этих фаз.
- Величину, равную параллельно соединенным сопротивлениям изоляции всех трех фаз, считывают с индикатора устройства контроля изоляции.
- По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.

## Требования к оформлению отчета

В отчет по лабораторной работе вносятся:

1. Наименование и цель работы.
2. Применяемые приборы и оборудование.
3. Заполненные таблицы с необходимыми расчетными формулами.
4. Общие выводы по результатам сделанной работы.

Результаты экспериментов заносятся в табл. 12.



## Экспериментальная таблица

Фазы сети	Сопротивление изоляции	Сила тока, А	Напряжение, В
$R_A$			
$R_B$			
$R_C$			

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ**

### **Цель работы**

Произвести измерение тока стекающего в землю через заземлитель и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.

Сделать вывод о эффективности защитного заземления.

### **Общие сведения**

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека или, иначе говоря, при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая значением тока, проходящего через тело человека, или же напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы замыкания цепи тока через тело человека, напряжение сети, схемой самой сети, режима ее нейтрали (т. е. заземлена или изолирована нейтраль), степени изоляции токоведущих частей от земли, а также от значений емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

Следовательно, указанная опасность не является однозначной: в одних случаях замыкание цепи тока через тело человека будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется не опасным, в других – токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Одной из основных причин несчастных случаев от электрического тока является появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, – на корпусах, кожухах, ограждениях и т. п.. Напряжение на этих частях может появиться как результат: повреждения изоляции токоведущих частей электрооборудования (вследствие механических воздействий, электрического пробоя, естественного старения и т. п.); падения провода, находящегося под напряжением, на конструктивные части электрооборудования; замыкания фазы сети на землю. Опасность поражения током в этих случаях устраняется с помощью защитного заземления, зануления, защитного отключения, выравнивания потенциала, двойной изоляцией, а также благодаря применению малых напряжений

и специальных защитных средств – переносных приборов и приспособлений.

**Защитным заземлением** называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние, вынос потенциала и т. п.).

Принцип действия защитного заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения. Данное напряжение называется напряжением прикосновения  $U_{\text{пр}}$ . Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования, а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования, за счет появления потенциалов на поверхности земли при стекании тока в землю. Данные потенциалы возникают из-за сравнительно большого удельного сопротивления грунта ( $1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$  Ом м.) и уменьшаются по мере удаления от места стекания тока в землю. В непосредственной близости от места стекания тока в землю потенциал основания, на котором стоит человек, практически равен потенциалу заземленного оборудования. При этом разность потенциалов, определяющая напряжение прикосновения, минимальна. По мере удаления данного основания от места стекания тока в землю указанная разность потенциалов возрастает, то есть эффект выравнивания потенциалов ослабевает. При удалении человека от места стекания тока в землю на 20 метров и более напряжение прикосновения практически равно потенциалу корпуса электроустановки оказавшейся под напряжением.

Если корпус электрооборудования не заземлен, и он оказался в контакте с фазой, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно прикосновению к фазе. В этом случае величина тока в комплексной форме, проходящего через тело человека, прикоснувшегося к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью (рис. 22), определяется соотношением:

$$\bar{I}_ч = \bar{U}_ф / (R_ч + R_{об} + R_п + \bar{Z}_н / 3), \quad (39)$$

где  $\bar{I}_ч$ ,  $\bar{U}_ф$ ,  $\bar{Z}_н$  – комплексы тока, А, фазного напряжения, В и сопротивления изоляции одной фазы, Ом;  $R_ч$  – сопротивление тела человека, Ом;  $R_{об}$  – сопротивление обуви человека, Ом;  $R_п$  – сопротивление пола (основания), Ом.

При малом сопротивлении обуви, пола и изоляции проводов относительно земли этот ток может достигать опасных значений.

Для трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью проводимость изоляции фазных проводов относительно земли пренебрежимо мала по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, поэтому величина тока через тело человека практически не зависит от сопротивления изоляции и равна

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_3), \quad (40)$$

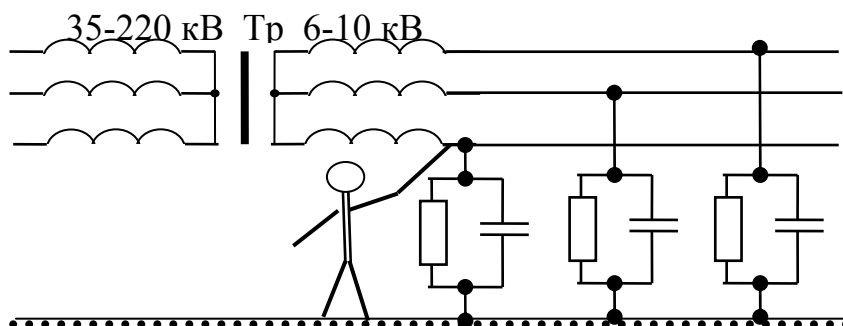


Рис. 22 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

Наиболее неблагоприятный случай будет, когда человек прикоснувшийся к фазе имеет на ногах токопроводящую обувь – сырую или подбитую металлическими гвоздями и стоит непосредственно на сырой земле или на проводящем основании – на металлическом полу, на заземленной металлической конструкции, т. е. когда можно принять  $R_{\text{об}}=0$  и  $R_{\text{п}}=0$ . Сопротивление заземления нейтрали  $R_0$  обычно во много раз меньше сопротивления тела человека (как правило,  $R_0$  не превышает 10 Ом) и им можно пренебречь. При этих условиях величина тока через тело человека достигает опасной величины. Например, при  $R_{\text{ч}}=1000$  Ом (вполне вероятная величина) и  $R_3=4$  Ом  $I_{\text{ч}}=220/(1000+4)\approx 0,22$  А.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя – металлических проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляющие части с заземлителем.

Заземлители бывают искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления и естественные, находящиеся в земле металлические предметы иного назначения.

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные электроды, т.е. одиночные заземлители.

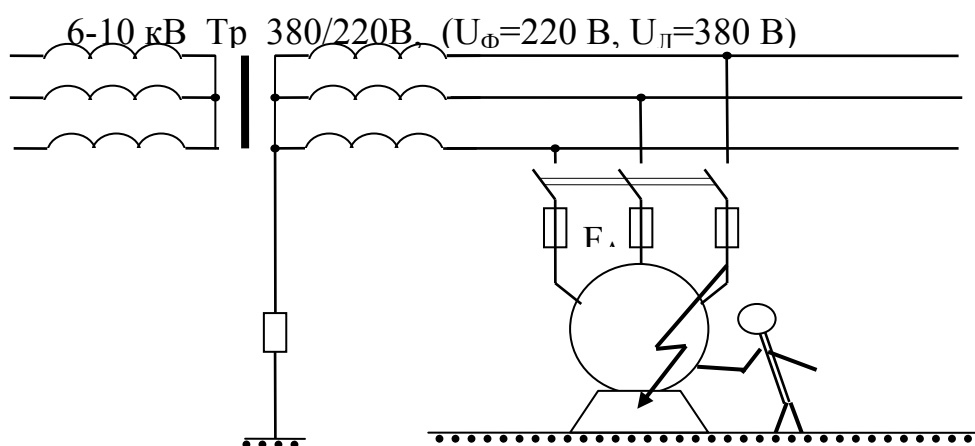


Рис. 23 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью

В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы диаметром 3–5 см и угловая сталь размером от 40×40 до 60×60 мм длиной 2,5–3 м, а также стальные прутки диаметром 10–12 мм и длиной до десяти метров.

Для соединения вертикальных электродов между собой и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяется полосовая сталь сечением не менее 4×12 мм или сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Для погружения в землю вертикальных электродов предварительно роют траншею глубиной 0,7–0,8 м, после чего их забивают и верхние концы соединяют стальной полосой с помощью сварки. В таких же траншеях прокладывают и горизонтальные электроды. Траншею засыпают землей, очищенной от строительного мусора, а затем тщательно утрамбовывают, что обеспечивает лучшую проводимость грунта, а следовательно, уменьшает расход металла на устройство заземления.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляющего оборудования различают два типа заземляющих устройств (ЗУ) – выносное ЗУ и контурное ЗУ. У выносного ЗУ заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование. Это приводит к тому, что практически не происходит выравнивание потенциала основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования. Эффективность применения такого ЗУ обусловлена только снижением потенциала заземленного оборудования. При этом оказывается несущественным число и схема расположения заземляющих электродов, рис. 24.

При замыкании фазы на корпус и стекании тока  $I_3$  через заземлитель  $\varphi_3(X)$  достигает максимума в точке поверхности над заземлителем и практически затухает через 20 метров. При этом на руку человека, прикоснувшегося к корпусу электрооборудования, действует потенциал заземлителя  $\varphi_3$ , а ноги находятся под потенциалом, близким к нулю. Напряжение прикосновения  $U_{пр}$ , равное разности потенциалов руки и ног, в данном случае практически равно  $\varphi_3$ .

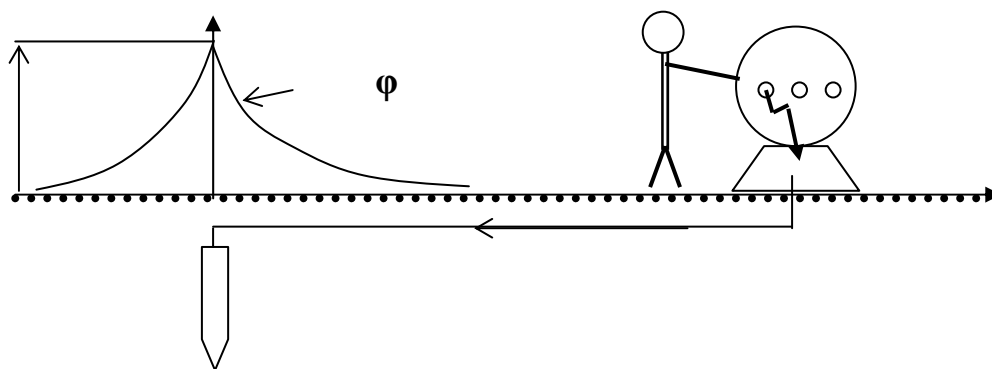


Рис. 24 – Выносной (сосредоточенный) заземлитель

Контурные ЗУ характеризуются по возможности равномерным размещением заземляющих электродов по площадке, на которой установлено электрооборудование. Такое ЗУ называется распределенным. Снижение напряжения прикосновения в этом случае обусловлено не только перераспределением падения напряжения источника, но и выравниванием потенциалов заземленного корпуса электроустановки и основания, на котором стоит человек, как это показано на рис. 25. При этом распределения потенциалов отдельных заземлителей складываются, получается суммарное распределение потенциала  $\varphi_{3\Sigma}(X)$ . Таким образом, потенциалы в точках рабочей площадки по своей величине приближаются к потенциалу заземленного корпуса оборудования, поэтому напряжение прикосновения  $U_{пр}$  значительно уменьшается и составляет доли  $\varphi_3$ .

В качестве естественных заземлителей могут использоваться: проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов); обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций зданий и сооружений, имеющие соединение с землей; металлические шпунты гидротехнических сооружений; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

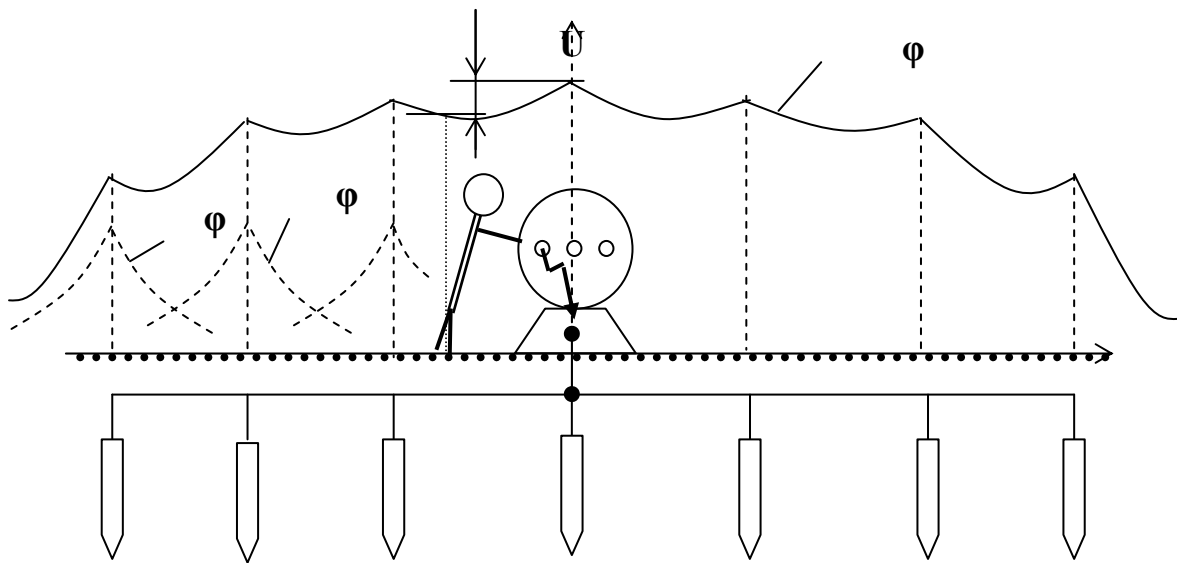


Рис. 25 – Случай контурного (распределенного) заземлителя

Алюминиевые оболочки кабелей и алюминиевые проводники не допускается использовать в качестве естественных заземлителей.

В электрических распределительных устройствах высокого напряжения в качестве естественного заземлителя используется заземление опор отходящих воздушных линий с грозозащитными тросами при условии, что тросы не изолированы от опор.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, поэтому использование их для целей заземления экономически весьма целесообразно.

Заземляющие проводники, т. е. проводники, соединяющие заземляемое оборудование с заземлителем выполняются обычно из полосовой стали. Прокладка их производится по стенам и другим конструкциям зданий. В качестве заземляющих проводников допускается использовать различные металлические конструкции.

Присоединение заземляемого оборудования к магистралям заземления, т. е. к основному заземляющему проводнику, идущему от заземлителя, осуществляется с помощью отдельных проводников. При этом последовательное включение заземляемого оборудования не допускается.

Соединения заземляющих проводников между собой, а также заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняются, как правило, сваркой, а с корпусами аппаратов, машин и другого оборудования – сваркой или с помощью болтов.

Отличительной окраской заземляющей сети является черный цвет, которым должны быть окрашены все открыто расположенные заземляющие проводники, конструкции и полосы сети заземления.

Область применения защитного заземления – трехфазные сети до 1 кВ с изолированной нейтралью и выше 1 кВ. с любым режимом работы нейтрали.

Требования к устройству защитного заземления и зануления определены Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), в соответствии с которыми защитному заземлению или занулению подлежат все металлические и другие токопроводящие части электроустановок и оборудования, которые случайно в аварийном режиме могут оказаться под напряжением (ССБТ ГОСТ 12.1.030–81):

- при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока, 440 В и выше постоянного тока – во всех электроустановках;

- при номинальном напряжении выше 42 В, но ниже 380 В переменного тока и выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока – только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных помещениях и в наружных электроустановках;

- во взрывоопасных помещениях необходимо заземлять все оборудование независимо от напряжения.

При номинальных напряжениях менее 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока заземления или зануления электроустановок не требуется.

Для заземления установок, которые питаются от одной сети, целесообразно проектировать общее заземляющее устройство. Если имеется несколько заземляющих устройств, они должны быть электрически соединены между собой.

Для осуществления эффективной защиты величина сопротивления защитного заземления не должна превышать значений, при которых напряжение прикосновения или шаговое напряжение достигают опасных величин (табл. 13).



Таблица 13

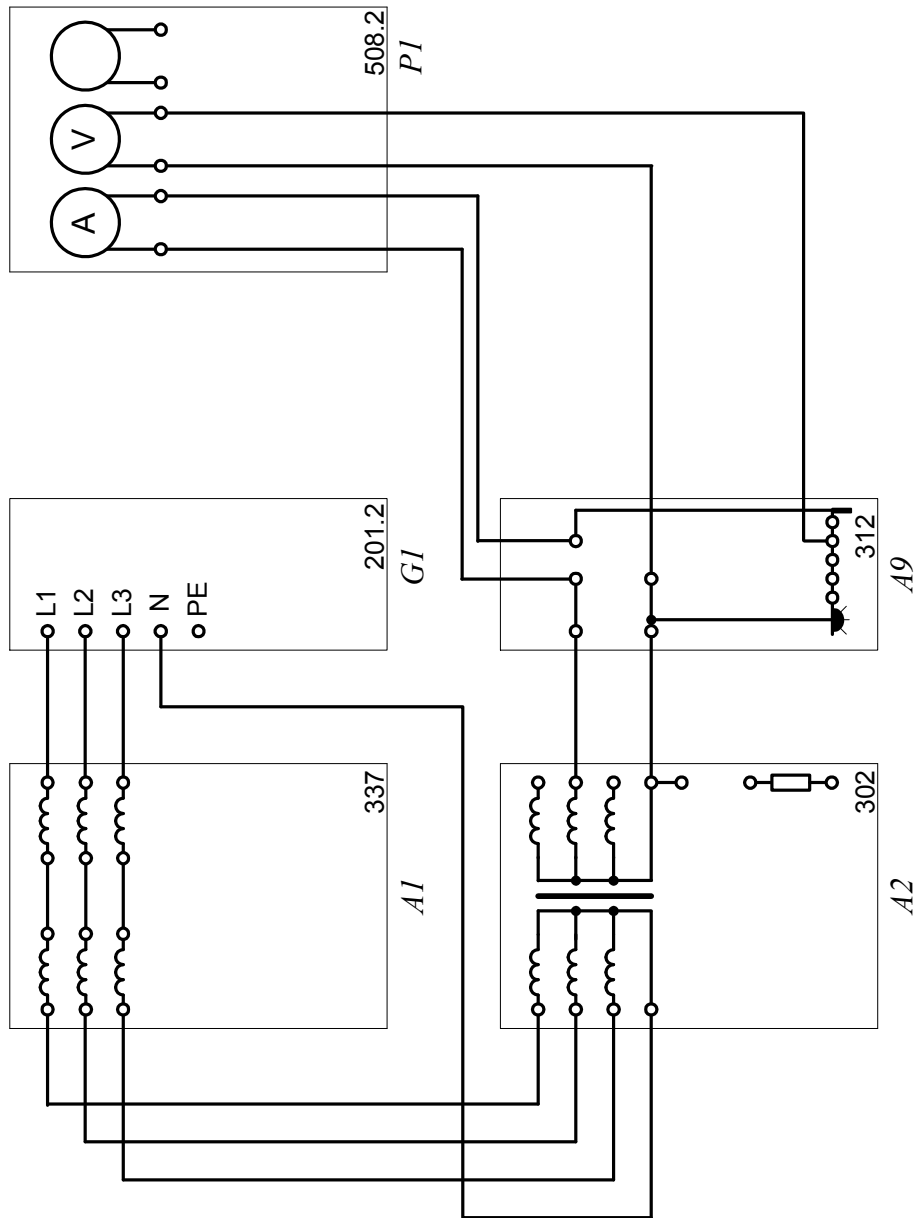
**Максимально допустимые значения сопротивления защитного заземления в зависимости от характеристик электрических сетей**

Допустимое сопротивление заземляющего устройства R, Ом	Характеристика электроустановок
Электроустановки напряжением до 1000 В (нейтраль изолирована)	
4	Для электроустановок мощностью источника более 100 кВА
10	Для электроустановок при мощности генераторов и трансформаторов до 100 кВА
125/I <sub>з</sub> , но не более 10 (I <sub>з</sub> расчетный ток замыкания на землю, А)	Если заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до 1000 В и выше 1000 В
Электроустановки напряжением выше 1000 В	
250/I <sub>з</sub> , но не более 10	Если заземляющее устройство используется в сети с изолированной нейтралью
0,5	Если заземляющее устройство используется в сети с эффективно заземленной нейтралью

**Перечень аппаратуры**

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A9	Модель измерения заземления	312
P1	Блок мультиметров	508.2

Электрическая схема соединений



## Порядок проведения работы

- Необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Гнезда защитного заземления « $\oplus$ » устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом «РЕ» источника G1.
- Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.
- Переключателем устанавливается желаемое удельное сопротивление грунта  $\rho$  в модели А9.
- Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 измеряется ток стекающий в землю через заземлитель и напряжение между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.
- Измеренные значения токов и напряжений используются для определения правильного расположения потенциального электрода относительно заземлителя и последующего расчета сопротивления заземления.
- По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.

## Требования к отчёту по лабораторной работе

При проведении эксперимента с помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров P1 при измерении тока стекающего в землю через заземлитель и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя, результаты отразить в форме таблицы.

Необходимо сделать вывод о эффективности защитного заземления.

# **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ/САМОЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

## **Цель работы**

Смоделировать и исследовать действие защитного заземления и самозаземления электрооборудования.

## **Общие сведения**

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара возможны лишь при замыкании электрической цепи через тело человека или, иначе говоря, при прикосновении человека не менее чем к двум точкам цепи, между которыми существует некоторое напряжение.

Опасность такого прикосновения, оцениваемая значением тока, проходящего через тело человека, или же напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы замыкания цепи тока через тело человека, напряжение сети, схемой самой сети, режима ее нейтрали (т. е. заземлена или изолирована нейтраль), степени изоляции токоведущих частей от земли, а также от значений емкости токоведущих частей относительно земли и т. п.

Следовательно, указанная опасность не является однозначной: в одних случаях замыкание цепи тока через тело человека будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется не опасным, в других – токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Одной из основных причин несчастных случаев от электрического тока является появление напряжения на металлических конструктивных частях электрооборудования, которые нормально не находятся под напряжением, – на корпусах, кожухах, ограждениях и т. п.. Напряжение на этих частях может появиться как результат: повреждения изоляции токоведущих частей электрооборудования (вследствие механических воздействий, электрического пробоя, естественного старения и т. п.); падения провода, находящегося под напряжением, на конструктивные части электрооборудования; замыкания фазы сети на землю. Опасность поражения током в этих случаях устраняется с помощью защитного заземления, зануления, защитного отключения, выравнивания потенциала, двойной изоляцией, а также благодаря применению малых напряжений

и специальных защитных средств – переносных приборов и приспособлений.

**Защитным заземлением** называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние, вынос потенциала и т. п.).

Принцип действия защитного заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения. Данное напряжение называется напряжением прикосновения  $U_{\text{пр}}$ . Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования, а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования, за счет появления потенциалов на поверхности земли при стекании тока в землю. Данные потенциалы возникают из-за сравнительно большого удельного сопротивления грунта ( $1 \times 10^3 - 1 \times 10^4$  Ом м.) и уменьшаются по мере удаления от места стекания тока в землю. В непосредственной близости от места стекания тока в землю потенциал основания, на котором стоит человек, практически равен потенциалу заземленного оборудования. При этом разность потенциалов, определяющая напряжение прикосновения, минимальна. По мере удаления данного основания от места стекания тока в землю указанная разность потенциалов возрастает, то есть эффект выравнивания потенциалов ослабевает. При удалении человека от места стекания тока в землю на 20 метров и более напряжение прикосновения практически равно потенциалу корпуса электроустановки оказавшейся под напряжением.

Если корпус электрооборудования не заземлен, и он оказался в контакте с фазой, то прикосновение человека к такому корпусу равносильно прикосновению к фазе. В этом случае величина тока в комплексной форме, проходящего через тело человека, прикоснувшегося к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью (рис. 26), определяется соотношением:

$$\bar{I}_ч = \bar{U}_ф / (R_ч + R_{об} + R_п + \bar{Z}_н / 3), \quad (41)$$

где  $\bar{I}_ч$ ,  $\bar{U}_ф$ ,  $\bar{Z}_н$  – комплексы тока, А, фазного напряжения, В и сопротивления изоляции одной фазы, Ом;  $R_ч$  – сопротивление тела человека, Ом;  $R_{об}$  – сопротивление обуви человека, Ом;  $R_п$  – сопротивление пола (основания), Ом.

При малом сопротивлении обуви, пола и изоляции проводов относительно земли этот ток может достигать опасных значений.

Для трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью проводимость изоляции фазных проводов относительно земли пренебрежимо мала по сравнению с проводимостью заземления нейтрали, поэтому величина тока через тело человека практически не зависит от сопротивления изоляции и равна

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{п}} + R_3), \quad (42)$$

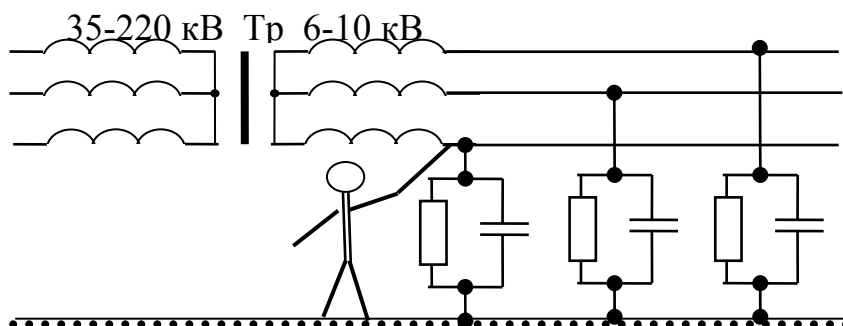


Рис.26 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

Наиболее неблагоприятный случай будет, когда человек прикоснувшийся к фазе имеет на ногах токопроводящую обувь – сырую или подбитую металлическими гвоздями и стоит непосредственно на сырой земле или на проводящем основании – на металлическом полу, на заземленной металлической конструкции, т. е. когда можно принять  $R_{\text{об}}=0$  и  $R_{\text{п}}=0$ . Сопротивление заземления нейтрали  $R_0$  обычно во много раз меньше сопротивления тела человека (как правило,  $R_0$  не превышает 10 Ом) и им можно пренебречь. При этих условиях величина тока через тело человека достигает опасной величины. Например, при  $R_{\text{ч}}=1000$  Ом (вполне вероятная величина) и  $R_3=4$  Ом  $I_{\text{ч}}=220/(1000+4)\approx 0,22$  А.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя – металлических проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляющие части с заземлителем.

Заземлители бывают искусственные, предназначенные исключительно для целей заземления и естественные, находящиеся в земле металлические предметы иного назначения.

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные электроды, т.е. одиночные заземлители.

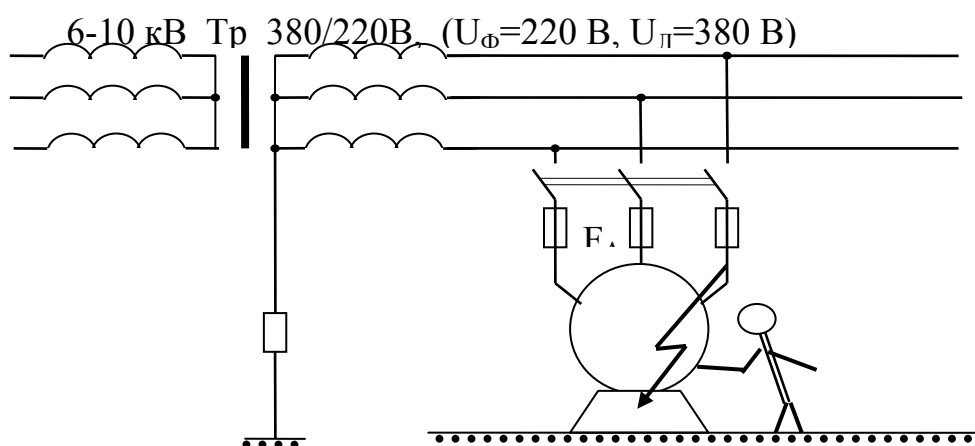


Рис.27 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью

В качестве вертикальных электродов используются стальные трубы диаметром 3–5 см и угловая сталь размером от 40×40 до 60×60 мм длиной 2,5–3 м, а также стальные прутки диаметром 10–12 мм и длиной до десяти метров.

Для соединения вертикальных электродов между собой и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяется полосовая сталь сечением не менее 4×12 мм или сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

Для погружения в землю вертикальных электродов предварительно роют траншею глубиной 0,7–0,8 м, после чего их забивают и верхние концы соединяют стальной полосой с помощью сварки. В таких же траншеях прокладывают и горизонтальные электроды. Траншею засыпают землей, очищенной от строительного мусора, а затем тщательно утрамбовывают, что обеспечивает лучшую проводимость грунта, а следовательно, уменьшает расход металла на устройство заземления.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляющего оборудования различают два типа заземляющих устройств (ЗУ) – выносное ЗУ и контурное ЗУ. У выносного ЗУ заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование. Это приводит к тому, что практически не происходит выравнивание потенциала основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования. Эффективность применения такого ЗУ обусловлена только снижением потенциала заземленного оборудования. При этом оказывается несущественным число и схема расположения заземляющих электродов, рис. 28.

При замыкании фазы на корпус и стекании тока  $I_3$  через заземлитель  $\varphi_3(X)$  достигает максимума в точке поверхности над заземлителем и практически затухает через 20 метров. При этом на руку человека, прикоснувшегося к корпусу электрооборудования, действует потенциал заземлителя  $\varphi_3$ , а ноги находятся под потенциалом, близким к нулю. Напряжение прикосновения  $U_{\text{пр}}$ , равное разности потенциалов руки и ног, в данном случае практически равно  $\varphi_3$ .

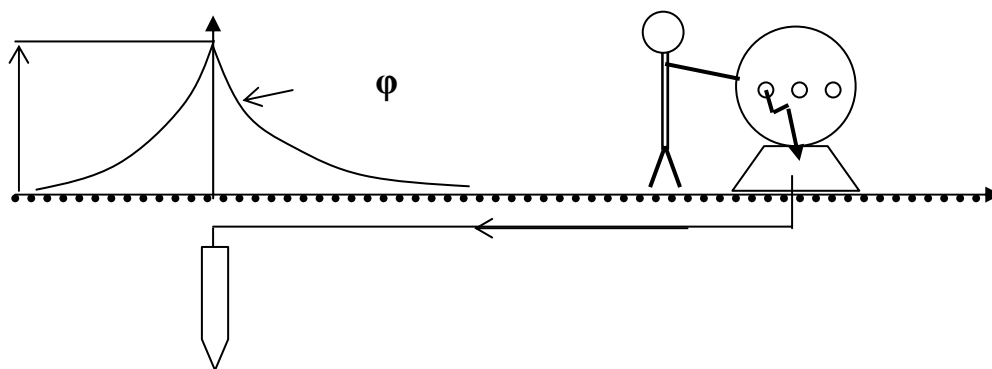


Рис. 28 – Выносной (сосредоточенный) заземлитель

Контурные ЗУ характеризуются по возможности равномерным размещением заземляющих электродов по площадке, на которой установлено электрооборудование. Такое ЗУ называется распределенным. Снижение напряжения прикосновения в этом случае обусловлено не только перераспределением падения напряжения источника, но и выравниванием потенциалов заземленного корпуса электроустановки и основания, на котором стоит человек, как это показано на рис. 29. При этом распределения потенциалов отдельных заземлителей складываются, получается суммарное распределение потенциала  $\varphi_{3\Sigma}(X)$ . Таким образом, потенциалы в точках рабочей площадки по своей величине приближаются к потенциалу заземленного корпуса оборудования, поэтому напряжение прикосновения  $U_{\text{пр}}$  значительно уменьшается и составляет доли  $\varphi_3$ .

В качестве естественных заземлителей могут использоваться: проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов); обсадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.п.; металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций зданий и сооружений, имеющие соединение с землей; металлические шпунты гидротехнических сооружений; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.



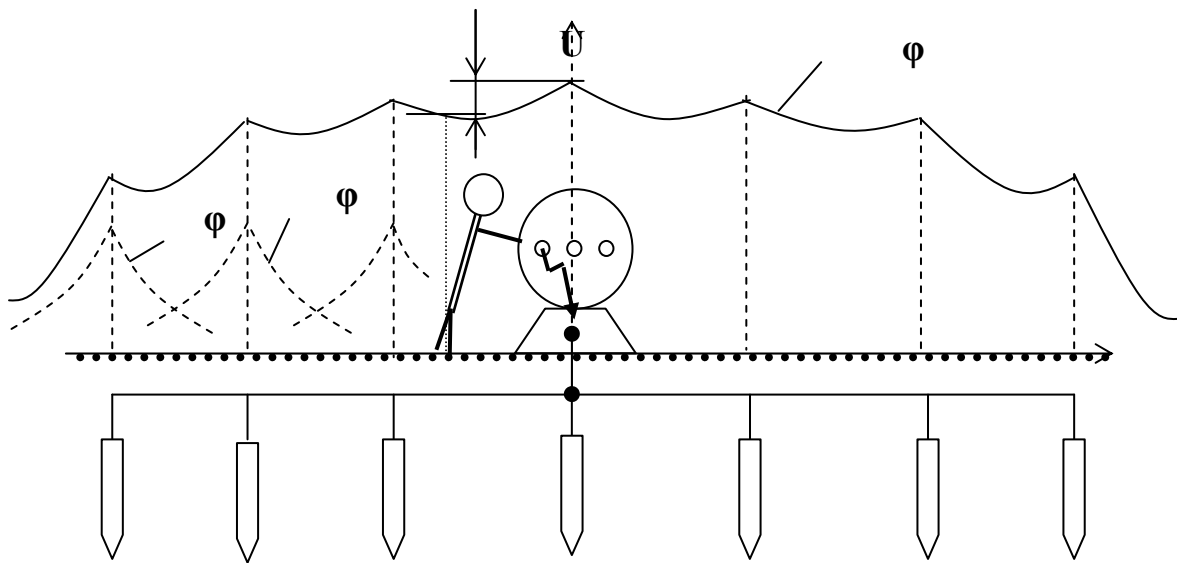


Рис. 29 – Случай контурного (распределенного) заземлителя

Алюминиевые оболочки кабелей и алюминиевые проводники не допускается использовать в качестве естественных заземлителей.

В электрических распределительных устройствах высокого напряжения в качестве естественного заземлителя используется заземление опор отходящих воздушных линий с грозозащитными тросами при условии, что тросы не изолированы от опор.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, поэтому использование их для целей заземления экономически весьма целесообразно.

Заземляющие проводники, т. е. проводники, соединяющие заземляемое оборудование с заземлителем выполняются обычно из полосовой стали. Прокладка их производится по стенам и другим конструкциям зданий. В качестве заземляющих проводников допускается использовать различные металлические конструкции.

Присоединение заземляемого оборудования к магистралям заземления, т. е. к основному заземляющему проводнику, идущему от заземлителя, осуществляется с помощью отдельных проводников. При этом последовательное включение заземляемого оборудования не допускается.

Соединения заземляющих проводников между собой, а также заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняются, как правило, сваркой, а с корпусами аппаратов, машин и другого оборудования – сваркой или с помощью болтов.

Отличительной окраской заземляющей сети является черный цвет, которым должны быть окрашены все открыто расположенные заземляющие проводники, конструкции и полосы сети заземления.

Область применения защитного заземления – трехфазные сети до 1 кВ с изолированной нейтралью и выше 1 кВ. с любым режимом работы нейтрали.

Требования к устройству защитного заземления и зануления определены Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), в соответствии с которыми защитному заземлению или занулению подлежат все металлические и другие токопроводящие части электроустановок и оборудования, которые случайно в аварийном режиме могут оказаться под напряжением (ССБТ ГОСТ 12.1.030–81):

- при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока, 440 В и выше постоянного тока – во всех электроустановках;

- при номинальном напряжении выше 42 В, но ниже 380 В переменного тока и выше 110 В, но ниже 440 В постоянного тока – только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных помещениях и в наружных электроустановках;

- во взрывоопасных помещениях необходимо заземлять все оборудование независимо от напряжения.

При номинальных напряжениях менее 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока заземления или зануления электроустановок не требуется.

Для заземления установок, которые питаются от одной сети, целесообразно проектировать общее заземляющее устройство. Если имеется несколько заземляющих устройств, они должны быть электрически соединены между собой.

Для осуществления эффективной защиты величина сопротивления защитного заземления не должна превышать значений, при которых напряжение прикосновения или шаговое напряжение достигают опасных величин (табл. 14).

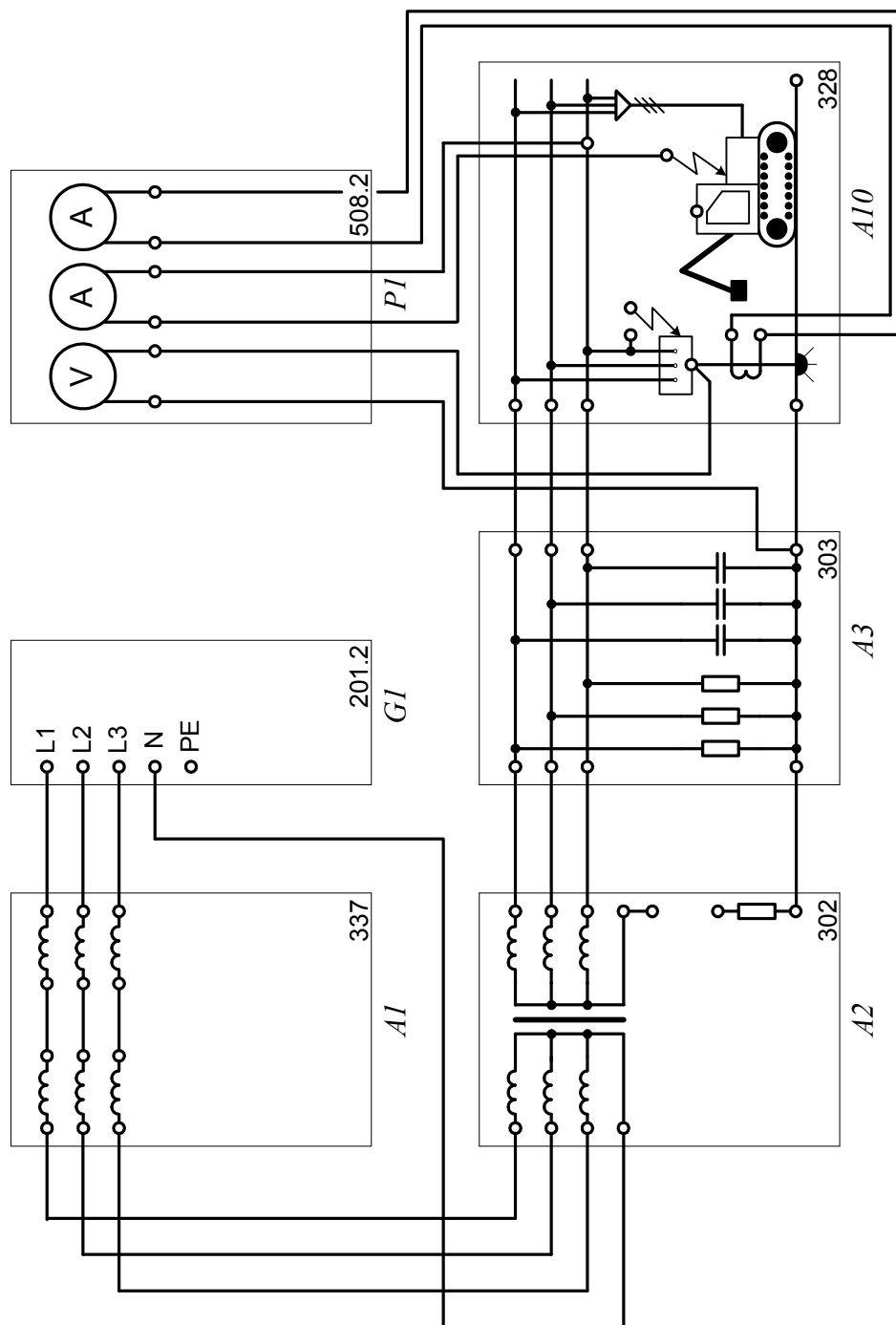
**Максимально допустимые значения сопротивления защитного заземления в зависимости от характеристик электрических сетей**

Допустимое сопротивление заземляющего устройства R, Ом	Характеристика электроустановок
Электроустановки напряжением до 1000 В (нейтраль изолирована)	
4	Для электроустановок мощностью источника более 100 кВА
10	Для электроустановок при мощности генераторов и трансформаторов до 100 кВА
125/I <sub>з</sub> , но не более 10 (I <sub>з</sub> расчетный ток замыкания на землю, А)	Если заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до 1000 В и выше 1000 В
Электроустановки напряжением выше 1000 В	
250/I <sub>з</sub> , но не более 10	Если заземляющее устройство используется в сети с изолированной нейтралью
0,5	Если заземляющее устройство используется в сети с эффективно заземленной нейтралью

**Перечень аппаратуры**

Обозначение	Наименование	Тип
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A3	Модель участка электрической сети	303
A10	Модель защитного заземления/самозаземления	328
P1	Блок мультиметров	508.2

Электрическая схема соединений



## Порядок проведения работы

- Необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом "РЕ" источника G1.
- Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.
- Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
- Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируется установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя  $R_0$  в блоке трехфазного трансформатора A2.
- Замыкание фазы на корпус электрооборудования моделируется установкой перемычки между гнездами 3 и 4 модели A10.
- Ток короткого замыкания измеряется с помощью амперметров блока мультиметров P1, включенных между гнездами 5, 6 и 7, 8 модели A10.
- Напряжения на корпусах электрооборудования и экскаватора измеряются с помощью вольтметра, включенного его между гнездами 1, E и 2, E модели A10.
- Грунт, в котором проложен заземлитель, характеризуется удельным электрическим сопротивлением  $\rho_1$ , а грунт, на котором стоит экскаватор, – удельным электрическим сопротивлением  $\rho_2$ .
- По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8. НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

### **Цель работы**

1. Получить общее представление о защитном отключении.
2. Изучение защитного отключения электрической сети с различным режимом нейтрали.

### **Общие сведения**

Защитное отключение – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения током.

Такая опасность может возникнуть при замыкании фазы на корпус электрооборудования; при снижении сопротивления изоляции фаз относительно земли ниже определенного предела; появлении в сети более высокого напряжения; прикосновении человека к токоведущей части, находящейся под напряжением. В этих случаях в сети происходит изменение некоторых электрических параметров: например, могут измениться напряжение корпуса относительно земли, напряжение фаз относительно земли, напряжение нулевой последовательности и др. Любой из этих параметров, а точнее говоря – изменение его до определенного предела, при котором возникает опасность поражения человека током, может служить импульсом, вызывающим срабатывание защитно-отключающего устройства, т. е. автоматическое отключение опасного участка сети.

Прибор защитного отключения – совокупность отдельных элементов, которые реагируют на изменение какого-либо параметра электрической сети и дают сигнал на отключение автоматического выключателя. Этими элементами являются:

- Датчик – устройство, воспринимающее изменение параметра и преобразующее его в соответствующий сигнал (обычно датчиками служат реле соответствующего типа);
- Усилитель, предназначенный для усиления сигнала датчика, если он оказывается недостаточно мощным;
- Цепи контроля, служащие для периодической проверки исправности схемы защитно-отключающего устройства;

- Вспомогательные элементы – сигнальные лампы, измерительные приборы, характеризующие состояние установки, и т. п.

Автоматический выключатель – устройство, служащее для включения и отключения цепей, находящихся под нагрузкой, при коротких замыканиях. Он должен отключать цепь автоматически при поступлении сигнала от прибора защитного отключения.

Устройство защитного отключения в зависимости от параметра, на который оно реагирует, можно отнести к тому или иному типу, в том числе к типам устройств, реагирующих на напряжение корпуса относительно земли, ток замыкания на землю, напряжение фазы относительно земли, напряжение нулевой последовательности, ток нулевой последовательности, оперативный ток и др.

Назначение защитного отключения заключается в том, чтобы одним прибором осуществлять совокупность защиты либо некоторые из следующих ее видов:

- от однофазных замыканий на землю или на элементы эл. оборудования, нормально изолированные от напряжения;
- от не полных замыканий, когда снижение изоляции одной из фаз создает опасность поражения человека;
- от поражения при прикосновении человека к одной из фаз эл. оборудования, если прикосновение произошло в зоне действия защиты прибора.

УЗО применяют в электроустановках до 1 кВ:

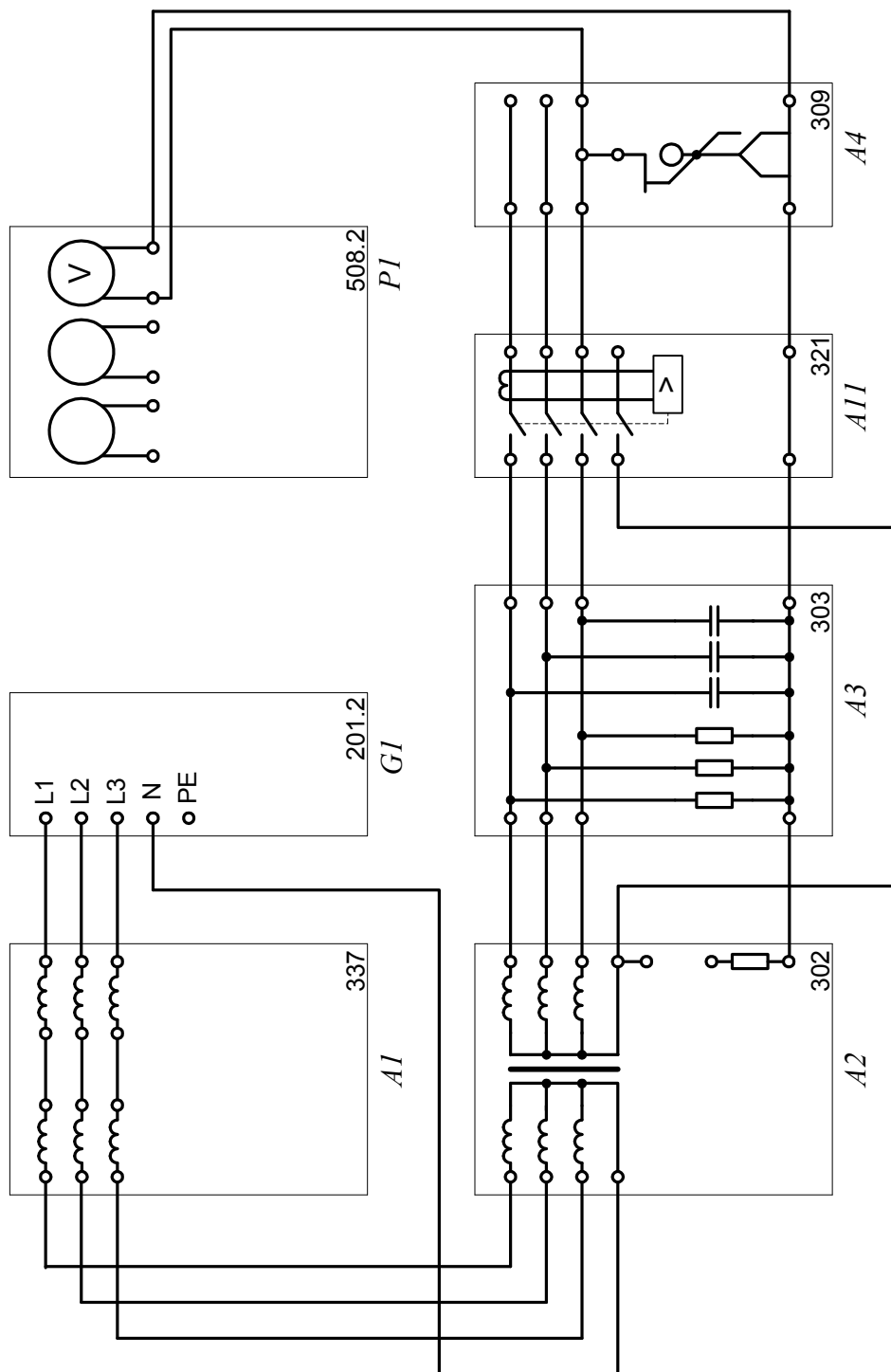
- в передвижных эл. установках с изолированной нейтралью. (особенно если затруднено создание заземляющего устройства. Может применяться как в виде самостоятельной защиты, так и в сочетании с заземлением);
- в стационарных электроустановках с изолированной нейтралью для защиты ручных электрических машин в качестве единственной защиты, и в дополнение к другим;
- в условиях повышенной опасности поражения электрическим током и взрывоопасности в стационарных и передвижных электроустановках с различными режимами нейтрали;
- в стационарных электроустановках с глухозаземленной нейтралью на отдельных удаленных потребителях электрической энергии и потребителя большой номинальной мощности, на которых защита занулением не достаточно эффективна.

## Перечень аппаратуры

<b>Обозначение</b>	<b>Наименование</b>	<b>Тип</b>
G1	Трехфазный источник питания	201.2
A1	Блок линейных дросселей	337
A2	Трехфазный трансформатор	302
A3	Модель участка электрической сети	303
A4	Модель человека	309
A11	Устройство защитного отключения	321
P1	Блок мультиметров	508.2



Электрическая схема соединений



## Порядок проведения работы

1. Перед началом работы необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Гнезда защитного заземления « $\oplus$ » устройств, используемых в эксперименте, соединяются с гнездом «РЕ» источника G1.
3. Аппаратура соединяется в соответствии с электрической схемой.
4. Включается источник G1 и питание блока мультиметров P1.
5. Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируется установкой (отсутствием) переключки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя  $R_0$  в блоке трехфазного трансформатора A2.
6. При проведении эксперимента в сети с изолированной нейтралью сопротивления  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$  изоляции фаз модели A3 обязательно должны иметь значимые величины.
7. Желаемые значения сопротивлений обуви человека и пола, на котором он стоит, устанавливаются на модели человека A4.
8. Временная и токовая уставка срабатывания устройства защитного отключения A11 устанавливается с помощью кнопок «<» и «>» на его лицевой панели.
9. Включение устройства защитного отключения A11 производится нажатием кнопки «ВКЛ.» на его лицевой панели.
10. На верхнем индикаторе устройства защитного отключения A11 можно наблюдать текущее значение тока утечки через человека.
11. Если после включения устройство защитного отключения A11 отключилось, то на его верхнем индикаторе высветится значение тока утечки, при котором произошло это отключение. Произведение этого значения тока утечки и времени срабатывания (уставки по времени) устройства защитного отключения используется для оценки эффективности последнего.
12. Напряжение фазы, которой касается человек, измеряется с помощью вольтметра блока мультиметров P1.
13. По завершении эксперимента источник G1 и питание блока мультиметров P1 отключается.

## Требования к отчету по лабораторной работе

- По п.п. 7–8, для режима глухозаземленной нейтрали питающей электрической сети, необходимо отразить величины тока утечки и

времени срабатывания УЗО при различных величинах сопротивления обуви  $R_{\text{обуви}}=1; 10; 300; 3000$  кОм и пола  $R_{\text{пола}}=1; 100; 900; 2500$  кОм (по заданию преподавателя).

- По п.п. 7–8, для режима с изолированной нейтралью, когда сопротивления изоляций будут иметь значимые значения  $R_A=R_B=R_C=1; 2; 5; 10; 100; 500$  кОм (по заданию преподавателя), также необходимо отразить величины тока утечки и времени срабатывания УЗО при различных величинах сопротивления обуви  $R_{\text{обуви}}=1; 10; 300; 3000$  кОм и пола  $R_{\text{пола}}=1; 100; 900; 2500$  кОм (по заданию преподавателя), а также определить напряжение фазы, которой касается человек.
- Необходимо сделать выводы по всем выполненным экспериментам.

### **4.3 МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Перед эксплуатацией лабораторного стола проверить присоединение его к контуру заземления лаборатории в соответствии с требованиями ПУЭ пп 1.7.76, 1.7.93, 1.7.94.
2. Перед началом работы проверяется состояние лабораторного стенда и используемых измерительных приборов. Студент должен: осмотреть электрический провода, находящиеся в комплекте стенда, питающие кабели, пусковые кнопки и др. устройства, электроизмерительные приборы, защитные средства, убедиться в наличии заземления, в отсутствии оголенных проводов, не закрытых клемных коробок, соединений.
3. Во время работы студент обязан регулярно производить осмотр обслуживаемого им оборудования, рабочего места. При выявлении неполадок немедленно известить об этом преподавателя.
4. Выполнение работ на лабораторном стенде производить в соответствии с порядком выполнения лабораторной работы согласно методическим указаниям к выполнению лабораторных работ.
5. Выполнение необходимых изменений в лабораторном стенде (сборка электрической схемы эксперимента) производить на отключенном стенде.
6. По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели однофазного источника питания G1 и A11, а также – выключатель «ПИТАНИЕ» модели A1 питающей электрической сети

## 5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. Доп. с исправлениями. М, 2002.
2. Сенигов П.Н. Основы электробезопасности. Руководство по выполнению базовых экспериментов. ОЭБ.001 РБЭ (912). – Челябинск: ООО «Учебная техника», 2004. – 39 с.
3. Долин, П. А. Основы техники безопасности в электроустановках : учеб. пособие для вузов / П. А Долин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: «Знак», 2000. – 440 с.
4. Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ РМ-016-2001. РД-153-34.003.150-0.090 (с изм. и доп.). – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 210 с.
5. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП). – М.: ЗАО «Энергосервис», 2003. – 286 с.
6. Межотраслевая инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 82 с.
7. Инструкция по оказанию первой помощи при несчастных случаях на производстве. РД-153-34.0-03.702-99. – М.: Министерство топлива и энергетики РФ, 1999. – 82 с.
8. Маньков В.Д. Опасность поражения человека электрическим током и порядок оказания первой помощи при несчастных случаях на производстве: Практическое руководство / В.Д. Маньков, С.Ф. Заграничный. – 5-е изд., испр. и доп. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ» ЭлектроСервис», 2006. – 80 с.
9. Гордон, Г.Ю. Электротравматизм и его предупреждение / Г.Ю. Гордон, Л.И. Вайнштейн. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с. Охрана труда в электроустановках: учебник для вузов / под ред. Б.А. Князевского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 336 с.
10. ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 6 с.
11. ГОСТ 12.0.003-74, ССБТ. Вредные и опасные производственные факторы. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 4 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК – ОПАСНЫЙ И ВРЕДНЫЙ ФАКТОР..5</b>	<b>5</b>
1.1. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОТОКА НА ЧЕЛОВЕКА, ВИДЫ ЭЛЕКТРОТРАВМ.....	5
1.2. ОКАЗАНИЕ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ .....	7
<b>2. ХАРАКТЕРИСТИКА СЕТЕЙ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ.....</b>	<b>17</b>
2.1. Область применения сетей с изолированной нейтралью .....	17
2.2. Контроль изоляции в сети с изолированной нейтралью.....	18
2.3. Заземление как средство защиты .....	19
2.4. Анализ опасности электропоражения в сетях с изолированной нейтралью .....	22
<b>3. СЕТИ С ГЛУХОЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ.....</b>	<b>28</b>
3.1 Защитное зануление.....	28
3.2. Защитное отключение.....	43
<b>4. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ» .....</b>	<b>48</b>
4.1 Характеристика лабораторного оборудования и измерительных приборов.....	48
4.2 Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра.....	51
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ И ЕЕ НЕЙТРАЛИ НА УСЛОВИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ .....</b>	<b>53</b>
<i>Цель работы.....</i>	<i>53</i>
<i>Общие сведения.....</i>	<i>53</i>
<i>Перечень аппаратуры .....</i>	<i>55</i>
<i>Порядок проведения работы .....</i>	<i>57</i>
<i>Требования к отчету.....</i>	<i>58</i>

<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЯВЛЕНИЯ ПРИ СТЕКАНИИ ТОКА В ЗЕМЛЮ ЧЕРЕЗ ЗАЩИТНЫЙ ЗАЗЕМЛИТЕЛЬ.....</b>	<b>60</b>
<i>Цель работы.....</i>	<i>60</i>
<i>Общие сведения.....</i>	<i>60</i>
<i>Перечень оборудования.....</i>	<i>67</i>
<i>Порядок проведения работы.....</i>	<i>69</i>
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА</b>	<b>71</b>
<i>Цель работы.....</i>	<i>71</i>
<i>Общие сведения.....</i>	<i>71</i>
<i>Перечень аппаратуры.....</i>	<i>73</i>
<i>Порядок проведения работы.....</i>	<i>73</i>
<i>Требования к отчету.....</i>	<i>74</i>
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАНУЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....</b>	<b>75</b>
<i>Цель работы.....</i>	<i>75</i>
<i>Общие сведения.....</i>	<i>75</i>
<i>Перечень аппаратуры.....</i>	<i>76</i>
<i>Порядок проведения работы.....</i>	<i>78</i>
<i>Требования к отчету.....</i>	<i>79</i>
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. КОНТРОЛЬ ИЗОЛЯЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ.....</b>	<b>80</b>
<i>Цель работы.....</i>	<i>80</i>
<i>Общие сведения.....</i>	<i>80</i>
<i>Перечень аппаратуры, используемой в лабораторной работе..</i>	<i>81</i>
<i>Порядок проведения работы.....</i>	<i>83</i>
<i>Требования к оформлению отчета.....</i>	<i>83</i>
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ</b>	<b>85</b>
<i>Цель работы.....</i>	<i>85</i>
<i>Общие сведения.....</i>	<i>85</i>
<i>Перечень аппаратуры.....</i>	<i>92</i>
<i>Порядок проведения работы.....</i>	<i>94</i>
<i>Требования к отчёту по лабораторной работе.....</i>	<i>94</i>

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЗАЩИТНОГО  
ЗАЗЕМЛЕНИЯ/САМОЗАЗЕМЛЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ .....95**

<i>Цель работы.....</i>	<i>95</i>
<i>Общие сведения.....</i>	<i>95</i>
<i>Перечень аппаратуры .....</i>	<i>102</i>
<i>Порядок проведения работы.....</i>	<i>104</i>

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8. НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО  
ОТКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ .....105**

<i>Цель работы.....</i>	<i>105</i>
<i>Общие сведения.....</i>	<i>105</i>
<i>Перечень аппаратуры .....</i>	<i>107</i>
<i>Порядок проведения работы.....</i>	<i>109</i>
<i>Требования к отчету по лабораторной работе .....</i>	<i>109</i>
4.3 Меры безопасности при проведении лабораторных работ .....	111

**5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....112**