

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Брянский государственный аграрный университет»

Иванюга М.М.

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ  
ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ**

**РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ**

Методические пособия  
для выполнения практических работ  
для студентов направления подготовки  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Брянская область, 2023

УДК 621.3 (076)  
ББК 31.26  
И 23

Иванюга, М. М. Электрооборудование перерабатывающих производств: расчет защитного заземления и зануления: методические пособия для выполнения практических работ для студентов направления 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника / М. М. Иванюга. - Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2023. - 41 с.

Методические пособия содержат краткие теоретические сведения по изучаемому материалу и выполнению работ, примеры решения задач, задачи для самостоятельного решения по вариантам, необходимые справочные данные, контрольные вопросы для проверки глубины усвоения материала, необходимые данные по оформлению отчета. Предназначено для использования студентами очной и заочной форм обучения направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Рецензенты: Кисель Ю.Е. – д.т.н. профессор кафедры Электроэнергетики и электротехнологий ФГБОУ ВО Брянский ГАУ;

Безик В.А. – к.т.н., доцент кафедры Автоматики, математики и физики.

Рекомендовано к изданию методической комиссией института энергетики и природопользования Брянского ГАУ, протокол №7 от 28 апреля 2023 года.

© Брянский ГАУ, 2023  
© Иванюга М.М., 2023

## Содержание

Введение	4
Практическое занятие 1. Расчет защитного заземления	6
Теоретические сведения	6
Расчет заземления	16
Пример расчета	21
Методика выполнения работы	22
Содержание отчета	23
Контрольные вопросы	24
Список использованных источников	25
Варианты заданий для расчета заземления	26
Практическое занятие 2. Расчет защитного зануления	27
Теоретические сведения	27
Пример расчета	35
Методика выполнения работы	38
Содержание отчета	38
Контрольные вопросы	38
Список использованных источников	39
Варианты заданий для расчета	40

## Введение

При анализе несчастных случаев на производстве выявлено, что количество травм, вызванных поражением электрическим током, невелико, составляет около 1 % от общего числа несчастных случаев.

Если рассмотреть только смертельные несчастные случаи, то можно увидеть что из общего числа смертельных несчастных случаев на производстве составляет от 20 до 40 %, а в энергетике – до 60 %.

Летальные исходы происходят за счет поражения электрическим током, это на много больше, чем по какой-либо другой причине. Смертельные исходы происходят при напряжении до 1 кВ и составляют 75–80 % от общего числа.

Развитие электроэнергетики сопровождается непрерывным совершенствованием различного электрооборудования, поиском новых технических решений при создании новых современных электроустановок.

Заземляющее устройство является неотъемлемой частью любой электроустановки.

Условия работы заземляющего устройства определяются, удельным электрическим сопротивлением земли и электрическими параметрами заземляющих и защитных проводников.

Основная функция заземляющего устройства - защита от поражения электрическим током людей и животных. Защитное заземление – одна из основных мер защиты, при работе с электроустановками. В настоящее время заземление и меры защиты регламентируются двумя основными нормативными документами: Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и комплексом стандартов ГОСТ Р 50571 (МЭК – 364).

Предлагаемое методическое пособие содержит указания и примеры решения задач, составленные в помощь студентам, изучающим вопросы расчета параметров электрооборудования перерабатывающих производств. Самостоятельное решение задач предлагается по индивидуальному варианту, а также из перечня задач для самостоятельного решения.

Методическое пособие включают в себя задачи по расчету. Задача содержит подробное решение.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий по курсу «Электрооборудование перерабатывающих производств» для студентов направлений подготовки 13.03.02 - Энергоэнергетика и электротехника.

Целью выполнения практических работ является приобретение высокого уровня профессиональной подготовки специалистов в области эксплуатации электрооборудования.

В результате выполнения практических заданий студент должен

Знать:

Объекты профессиональной деятельности.

Основные режимы работы объектов профессиональной деятельности

Основные параметры оборудования объектов профессиональной деятельности.

Особенности и принципы функционирования современных систем электрификации и автоматизации

Уметь:

Проектировать объекты профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией.

Определять параметры оборудования.

Производить необходимые расчеты режимов работы объектов профессиональной деятельности.

Разрабатывать конструкцию технологической оснастки для производства изделий низкой сложности систем электрификации и автоматизации

Владеть:

Техническими, энергоэффективными требованиями при проектировании объектов профессиональной деятельности.

Способностью определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности;

Способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности.

Навыками разработки конструкций технологической оснастки для производства изделий систем электрификации и автоматизации.

## Практическое занятие 1

### Расчет защитного заземления

**Цель работы:** Изучить принцип действия защитного заземления и методики расчета сопротивления заземляющих устройств. Рассчитать контурное защитное заземление  $R_z$  методом коэффициентов использования по допустимому сопротивлению  $R_d$ .

### Теоретические сведения

В различных частях электрических установок возможны повреждения изоляции и пробой на металлические корпуса двигателей, пускателей, светильников, оболочек кабелей, стальных труб проводки и т.п.

Вследствие этого металлические нетоковедущие части оборудования в нормальном состоянии, не находящиеся под напряжением могут оказаться под током и представлять опасность в случае прикосновения к ним людей и животных.

Средством защиты от поражения электрическим током при переходе напряжения на нетоковедущие части электроустановок 3 рисунок 1.1 является защитное заземление (заземляющий проводник 4 и заземлитель 5).

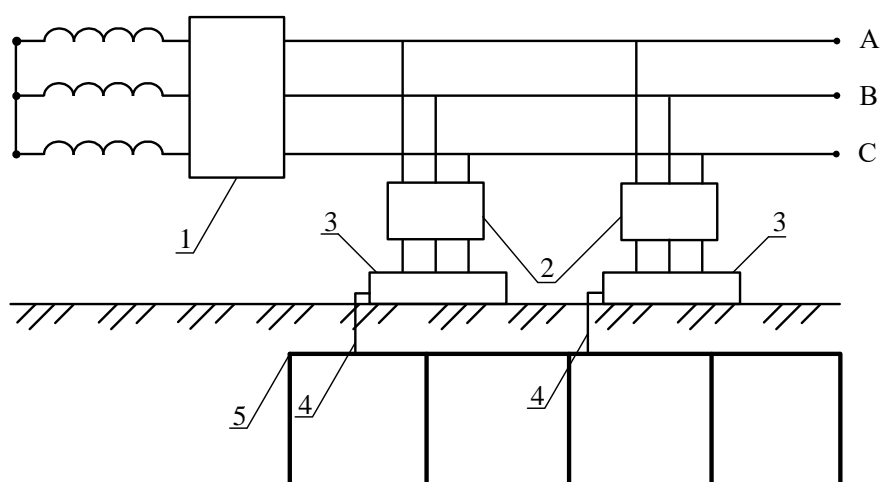


Рисунок 1.1 - Схема защитного заземления:

A, B, C – фазы электросети;

1– устройство защитного отключения;

2– автоматические выключатели;

3– электрооборудование;

4– заземляющий проводник;

5-заземлитель.

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

В заземляющее устройство входит заземлитель и заземляющие проводники, соединяющие заземляемые части электроустановки с заземлителем.

Защитное заземление – заземление, выполненное в целях безопасности. Рабочее заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей отдельных точек электрической цепи, например, нейтральных точек обмоток генераторов, силовых и измерительных трансформаторов и т. п. Рабочее заземление предназначено для обеспечения надлежащей работы электроустановки в нормальных или аварийных условиях и осуществляется непосредственно или через специальные аппараты – пробивные предохранители, разрядники, резисторы и т.п.

Замыкание на корпус – или, точнее, электрическое замыкание на корпус – это случайное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки. Замыкание на корпус может быть результатом, например, случайного касания токоведущей части корпуса машины, повреждения изоляции, падения провода, находящегося под напряжением, на нетоковедущие части электроустановок и т. п.

Защитное заземление предназначено для устранения опасности поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим частям.

Принцип действия защитного заземления – снижение до безопасных значений напряжений прикосновения, обусловленных замыканием на корпус и другими причинами. Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования за счет малого сопротивления заземляющего устройства, а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек и заземленного оборудования за счет увеличения потенциала основания до значений, близких к потенциалу заземленного оборудования.

Принципиальная схема защитного заземления приведена на рисунке 1.2

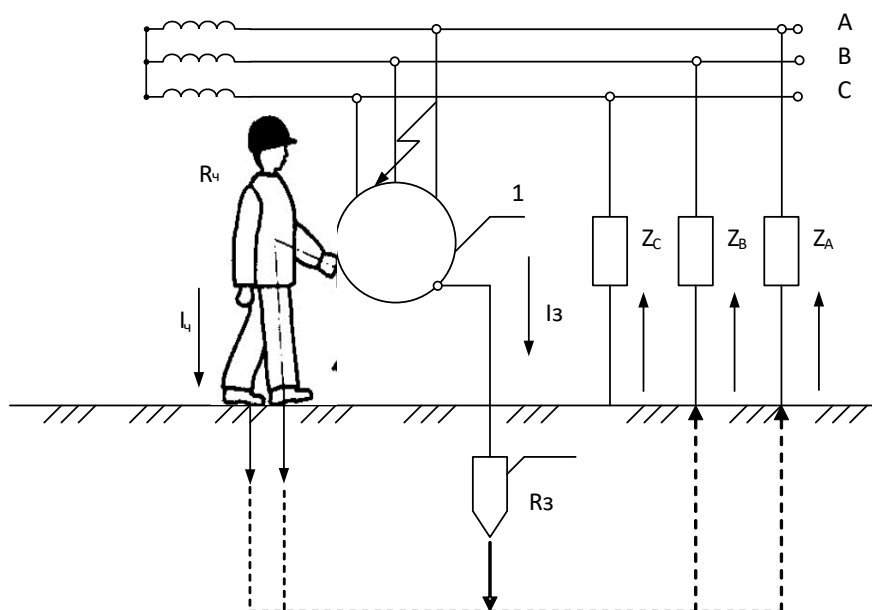


Рисунок 1.2 – Схема защитного заземления.

- 1 - заземленное электрооборудование;
- 2 – заземлитель защитного заземления;

$R_3$ ,- сопротивление защитного заземления, Ом;  
 $R_ч$  – сопротивление тела человека  
 $I_з$  – ток замыкания, А;  
 $I_ч$  – ток через тело человека, mA;  
 $Z_A, Z_B, Z_C$  – полное сопротивление изоляции фаз.

#### *Область применения защитного заземления*

Защитное заземление применяется:

- 1) электрические сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью;
- 2) электрические сети напряжением свыше 1000 В с любым режимом нейтрали.

Защитное заземление электроустановок следует выполнять при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока во всех случаях.

В помещениях категорий повышенной опасности и особо опасных согласно ПУЭ защитное заземление должно применяться в электроустановках при номинальном напряжении от 42 В до 380 В переменного тока и от 110 В до 440 В постоянного тока (ГОСТ 12.1.013-78).

Во взрывоопасных помещениях категорий А и Б (СП 12.13130.2009) все электроустановки независимо от величины напряжения должны быть заземлены.

#### *Характеристики заземляющих устройств*

В зависимости от расположения заземлителей по отношению к заземляемому оборудованию заземления бывают выносные рисунок 3 (сосредоточенные) и контурные рисунок 4.

Заземлители выносных заземлений располагают сосредоточенно на расстоянии более 20 м от заземляемого оборудования, т. е. вне зоны растекания тока замыкания на землю.

Выносное заземляющее устройство характеризуется тем, что заземлитель его вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, или сосредоточен на некоторой части этой площадки рисунок 1.3. Поэтому выносное заземляющее устройство называют также сосредоточенным. Размещение электродов выносного заземляющего устройства может быть выполнено «в ряд» или «по контуру».

Существенный недостаток выносного заземляющего устройства – удаленность заземлителя от защищаемого оборудования, вследствие чего на всей или на части заземляемой территории коэффициент прикосновения  $\alpha = 1$ , то есть напряжение прикосновения будет максимальным и равным потенциалу заземлителя (фз). Поэтому этот тип заземляющего устройства применяют лишь при малых значениях токов замыкания на землю (ГОСТ 12.1.038-82) и, в частности, в установках напряжением до 1000 В, где потенциал заземлителя фз не превышает значений допустимого напряжения прикосновения  $U_{пр. доп.}$ , В.

Достоинством выносного заземляющего устройства является возможность выбора места размещения электродов заземлителя с наименьшим сопротивлением грунта (сырое, глинистое, в низинах и т. д.).



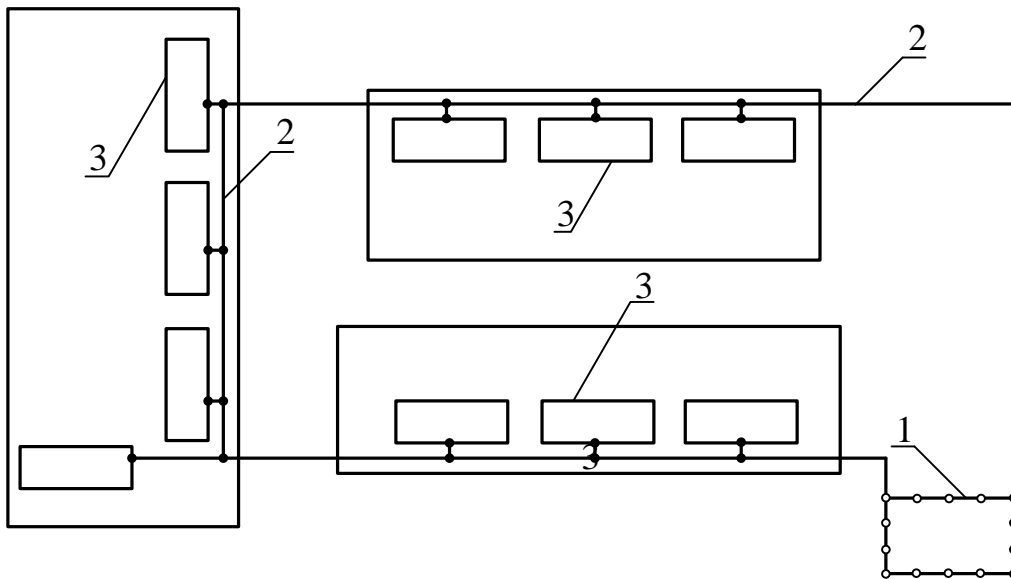


Рисунок 1.3 - Схема выносного защитного заземления:

- 1- контур заземления;
- 2- заземляющие проводники внутреннего контура;
- 3- Электроустановки.

Заземлители контурного заземления располагают по периметру и внутри площадки, на которой установлено заземляемое оборудование.

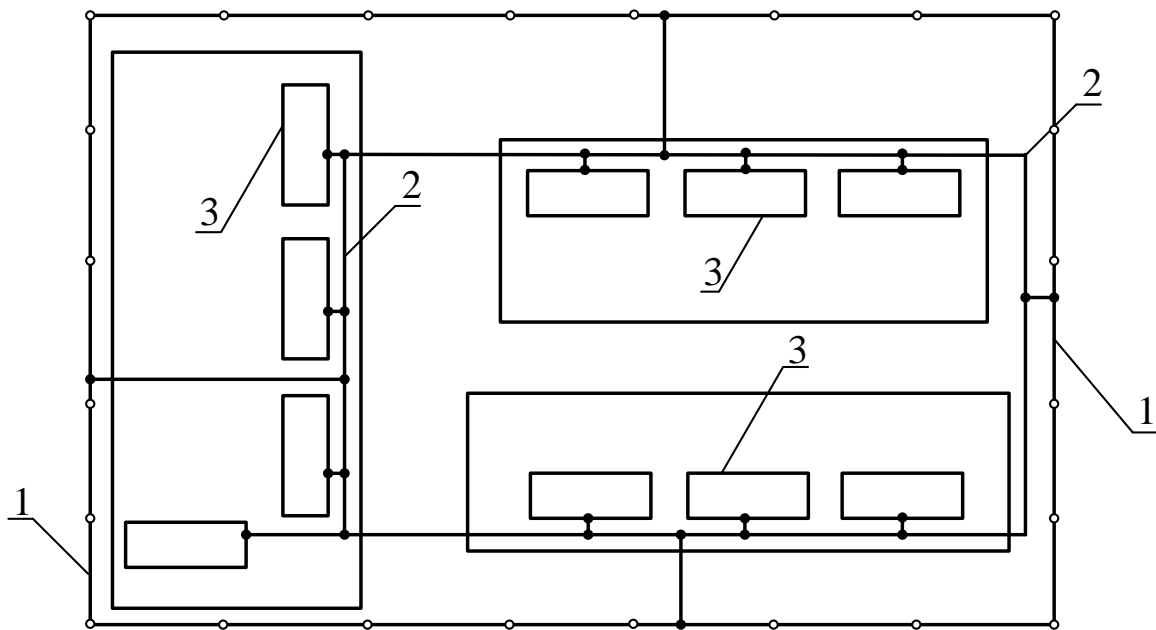


Рисунок 1.4 - Схема контурного защитного заземления:

- 1-контур заземления;
- 2- заземляющие проводники внутреннего контура;
- 3- электроустановки.

Контурное заземляющее устройство характеризуется тем, что электроды его заземлителя располагаются по контуру (периметру), на которой находится заземляемое оборудование, а также внутри этой площадки. Часто электроды распределяют на площадке по возможности равномерно, и поэтому контурное заземляющее устройство называется также распределенным.

Размещение электродов выносного заземляющего устройства может быть «в ряд» или «по контуру».

Безопасность при контурном заземляющем устройстве может быть обеспечена не за счет уменьшения потенциала заземлителя до безопасных значений, а за счет уравнивания потенциала на защищаемой территории до такого значения, чтобы максимальные напряжения прикосновения и шага не превышали допустимых величин. Это достигается путем соответствующего размещения одиночных заземлителей на защищаемой территории.

### *Выполнение заземляющих устройств*

Для объединения заземляющих устройств разных электроустановок в одно общее заземляющее устройство могут быть использованы естественные и искусственные заземляющие проводники. Их число должно быть не менее двух. Заземлитель – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Проводящая часть – часть, которая может проводить электрический ток. Сторонняя проводящая часть – проводящая часть, не являющаяся частью электроустановки

Токоведущая часть – проводящая часть электроустановки, находящаяся в процессе работы под напряжением.

Различают заземлители искусственные, специально изготовленные, предназначенные исключительно для целей заземления и естественные.

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные металлические электроды. В качестве вертикальных электродов используются:

- стальные трубы с толщиной стенки не менее 3,5 мм диаметром 50–60 мм;
- угловая сталь с толщиной полки не менее 4 мм, размером от 40×40 до 60×60 мм, длиной 2,5–3 м;
- прутки стальные диаметром не менее 10 мм, длиной до 10 м.

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

В случае опасности усиленной коррозии заземлителей необходимо применять электроды увеличенного сечения, либо оцинкованные или омедненные. Для установки вертикальных заземлителей предварительно роют траншею глубиной 0,5...0,8 м, после чего производят забивку труб, уголков или прутков с помощью механизмов (копры, гидропрессы, вибраторы). Верхние торцы погруженных в землю вертикальных электродов соединяют стальной полосой длиной  $L$  с помощью сварки. Засыпка траншей производится землей, очищен-

ной от строительного мусора с последующей тщательной трамбовкой, что снижает сопротивление растеканию заземлителя, а, следовательно, дает экономию металла. Искусственные заземлители могут быть выполнены также из электропроводящего бетона.

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

В качестве естественных заземлителей могут использоваться:

- проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов);

- осадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т. п.;

- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, имеющие соединения с землей;

- свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле;

- металлические шпунты гидротехнических сооружений и т. п.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока и поэтому использование их для заземления дает ощутимую экономию металла. Недостатком естественных заземлителей является доступность некоторых из них неэлектротехническому персоналу и возможность нарушения непрерывности соединения протяженных заземлителей (при ремонтных работах и т. п.).

Места и способы присоединения заземляющих проводников к протяженным естественным заземлителям (например, к трубопроводам) должны быть выбраны такими, чтобы при разъединении заземлителей для ремонтных работ ожидаемые напряжения прикосновения и расчетные значения сопротивления заземляющего устройства не превышали безопасных значений. Заземляющие проводники – проводники, соединяющие заземляемую часть (точку) с заземлителем. В качестве заземляющих проводников, предназначенных для соединения заземляемых частей с заземлителями, применяется, как правило, полосовая сталь и сталь круглого сечения.

В сетях напряжением до 1000 В и выше с изолированной нейтралью, т. е. с малыми токами замыкания на землю, наименьшее сечение стальной угольной шины составляет 24 мм<sup>2</sup> при прокладке ее внутри здания и 48 мм<sup>2</sup> при прокладке вне здания или в земле; для круглой стали наименьший диаметр равен 5 и 6 мм<sup>2</sup> соответственно.

В производственных помещениях с электроустановками напряжением выше 1000 В магистрали заземления (заземляющие проводники с двумя и более ответвлениями) из стальной полосы должны иметь сечение не менее 120 мм<sup>2</sup>, а напряжением до 1000 В – не менее 100 мм<sup>2</sup>. Допускается применение стали круглого сечения той же проводимости.

Во всех случаях не требуется применения медных проводников сечением более 25 мм<sup>2</sup>, алюминиевых – более 35 мм<sup>2</sup> и стальных – 120 мм<sup>2</sup>. Прокладка в земле алюминиевых неизолированных проводников не допускается. Искусственные заземлители не должны иметь окраску.

### Прокладка заземляющих проводников

Прокладка заземляющих проводников производится открыто по конструкциям зданий, в том числе по стенам. Заземляющие проводники в закрытых помещениях должны быть доступны для осмотра. Ответвления от магистралей к электроприемникам напряжением до 1000 В допускается прокладывать скрытно непосредственно в стене, под чистым полом и т. п. с предварительной защитой их от воздействия агрессивных сред. Такие ответвления не должны иметь соединений.

В наружных установках заземляющие проводники допускается прокладывать в земле, в полу, а также по краю площадок фундаментов технологических установок и т. п.

Присоединение заземляемого оборудования к магистралям заземления осуществляется с помощью отдельных проводников. При этом последовательное включение заземляемого оборудования не допускается рисунок 1.5.

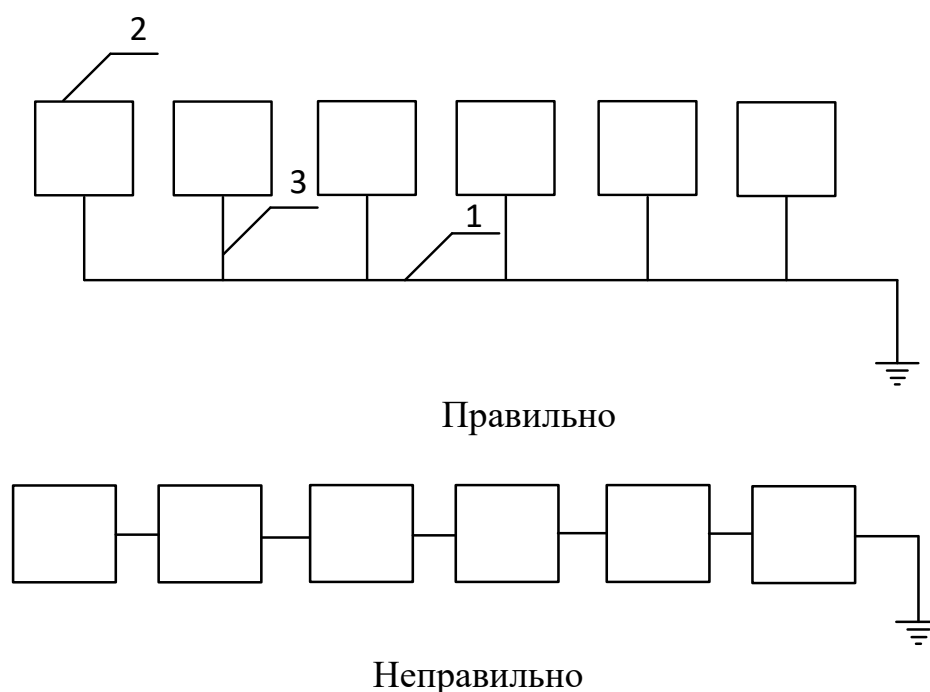


Рисунок 1.5 - Схема присоединения заземляемых объектов к заземляющей магистрали.

- 1 – заземляющая магистраль; 2 – заземляемое оборудование;  
3 – проводник-ответвление к заземляющей магистрали

Главная заземляющая магистраль (шина) – шина, являющаяся частью заземляющего устройства до 1000 В и предназначенная для присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

Заземление отдельных электродвигателей, аппаратов и другого оборудования, установленных непосредственно на металлических станках и имеющих с металлом станков надежный контакт, может осуществляться путем присоединения станины станков к заземляющей магистрали.

Соединение заземляющих проводников между собой, а также с заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняется, как правило, сваркой, а с корпусами аппаратов, машин и другого оборудования – сваркой или с помощью болтов. Отсоединение от главной заземляющей магистрали (шины) должно быть возможно только с использованием инструмента.

При этом присоединение заземляющей магистрали к заземлителю – искусственному или естественному – выполняется в двух местах. Открыто проложенные заземляющие проводники должны иметь отличительную окраску: по зеленому фону желтые полосы.

Главная заземляющая магистраль (шина) должна быть, как правило, медной, допускается из стали; из алюминия не допускается.

В качестве заземляющих проводников, образующих заземляющую магистраль, применяется полосовая или круглая сталь, сечением порядка 48 мм<sup>2</sup>.

Таблица 1.1

Минимальные размеры стальных заземлителей  
и заземляющих проводников, мм

Заземлитель	Месторасположения		
	в зданиях	в наружных установках	в земле
Круглые, диаметром, мм	5	6	10
Прямоугольные, сечением, мм <sup>2</sup>	24	48	48
Угловая сталь с толщиной полос, мм	2	2,5	4
Стальные водопроводные трубы с толщиной стенок, мм	2,5	2,5	3,5

Заземляющий проводник присоединяется сваркой внахлестку не менее, чем в двух местах. Длина нахлестки должна быть равна двойной ширине проводника при прямоугольном сечении или круглом шести диаметрам. Болты (винты, шпильки) для крепления заземляющего проводника должен изготавливаться из стойкого в отношении коррозии металла. Диаметр болта (винта, шпильки) зависит от номинального тока потребителя: при токе потребителя до 16 А, диаметр болта 4 мм, при токе потребителя 250-300 А диаметр болта 10 мм. Нельзя применять для выполнения заземления крепежные детали машин, оборудования.

Таблица 1.2

Наименьшие сечения медных и алюминиевых заземляющих проводников в электроустановках напряжением до 1000 В

Проводники	Сечением, мм <sup>2</sup>	
	медь	алюминий
Без изоляции при открытой прокладке	4	6
Изолированные	1,5	2,5
Заземляющие жилы кабелей или многожильных проводов, находящихся в общей защитной оболочке с средними жилами	1	1,5

Таблица 1.3

## Наибольшие допустимые сопротивления заземляющих устройств

Установка	Сопротивление заземляющего устройства, Ом
1. Электроустановки напряжением 3-35 кВ и опоры воздушных линий, на которых установлены силовые и измерительные трансформаторы, при одновременном использовании заземляющих устройств для установок напряжением 1000 В	125/ $I_3$ , но не более 10 (с соблюдением требований позиций 3 и 4)
2. То же, для установок выше 1000 В	250/ $I_3$ , но не более 10
3. Электроустановки напряжением до 1000 В с заземленной и изолированной нейтралью или при мощности установок более 10 кВ А	4
4. То же, при мощности генераторов и трансформаторов, электроустановок не более 100 кВА	10
5. Железобетонные и металлические опоры воздушных линий напряжением 3-35 кВ при удельном сопротивлении земли, Ом м (в населенной местности). До 100 от 100 до 500 от 500 до 1000 более 1000	10 15 20 30
6. Железобетонные и металлические опоры воздушных линий напряжением до 1000 В:	50 Заземляются при соединении к нулевому проводу.
7. Повторное заземление нулевого провода сети 380/220В;	30
8. Защитное заземление от статического электричества;	Не более 100
9. Защитное заземление от электростатической индукции	Не более 10

Удельное сопротивление грунта - это главный параметр, который влияет на конструкцию заземляющего устройства: количество и длину заземляющих электродов. Физически оно равняется электрическому сопротивлению, которое грунт оказывает току при прохождении им расстояния между противоположными гранями условного куба объемом 1 куб. м.; размерность Ом\*м. Удельное сопротивление зависит от многих факторов: состава и структуры грунта, его плотности, влажности, температуры, наличия примесей – солей, кислот, щелочей. Все эти параметры изменяются в течение года, поэтому соответствующим образом меняется и сопротивление грунта. Данный факт нужно учитывать при проведении замеров, расчётов, а также при измерении сопротивления растеканию смонтированного заземляющего устройства.

Таблица 1.4

## Наибольшие допустимые сопротивление грунтов

Грунт, вода	Удельное сопротивление, Ом м
Торф	20
Чернозем	30
Садовая земля	50
Глина	60
Суглинок	100
Лесс	250
Супесок	300
Песок	500
Гравий, щебень	2000
Каменистый грунт	4000
Скалистый грунт	$10^4 \dots 10^7$
Вода морская	0,2...1
Вода речная	10...100
Вода прудовая	40...50
Каменный уголь	100...150

Таблица 1.5

## Признаки климатических зон для определения коэффициента сезонности К

Характеристика климатической зоны	Климатические зоны			
	1	2	3	4
Средняя низшая температура (январь), °С	-20...-15	-14...-10	-10... 0	0... +5
Средняя высшая температура (июль), °С	+16...+18	+18...+22	+22...+24	+24...+26
Среднегодовое количество осадков, см	~ 40	~ 50	~ 50	30 – 40
Продолжительность замерзания вод, дни	190 – 170	~ 150	~ 100	0

Таблица 1.6

## Коэффициент сезонности К для однородной земли

Климатическая зона	Значения коэффициентов сезонности при влажности		
	повышенной	нормальной	малой
Вертикальный электрод длиной до 3 м			
1	1,9	1,7	1,5
2	1,7	1,5	1,3
3	1,5	1,3	1,2
4	1,3	1,1	1,0
Вертикальный электрод длиной 4 – 5 м			
1	1,5	1,4	1,3
2	1,4	1,3	1,2
3	1,3	1,2	1,1
4	1,2	1,1	1,0
Горизонтальный электрод длиной до 50 м			

Горизонтальный электрод длиной до 50 м			
1	7,2	4,5	3,6
2	4,8	3,0	2,4
3	3,2	2,0	1,6
4	2,2	1,4	1,12

### Расчет заземления

Расчет производится в следующей последовательности:

- 1) Определяется норма сопротивления заземления по таблице 3 или по ГОСТ;
- 2) Определяется расчетное удельное сопротивление грунта, в котором предполагается размещать электроды заземления, по данным таблиц 4, 5 и 6;

$$\rho_{расч} = \rho \cdot K \quad (1.1)$$

3) В случае возможности использования естественных заземлителей определяется сопротивление току растекания этих заземлителей  $R_e$ , путем измерения или расчетном путем.

4) Определяется предварительно конфигурация заземлителя (в ряд, прямоугольник и т. п.) с учетом возможности размещения его на отведенной территории, участке;

5) Выбирается тип и размеры заземлителей - вертикальных электродов и горизонтального, соединительной полосы или протяженных заземлителей или других.

6) Определяется сопротивление растеканию тока с одного заземлителя  $R_1 = R_b$  по соответствующим формулам таблицы 6. (в формулу подставляется  $\rho_{расч}$  вместо  $\rho$ ).

7) Определяется требуемое сопротивление искусственного заземляющего устройства по формуле

$$R_{итр} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3} \quad (1.2)$$

8) Определим, предварительно, необходимое количество вертикальных заземлителей  $n$  по формуле

$$n = \frac{L_r}{a} \quad (1.3)$$

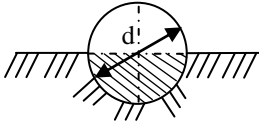
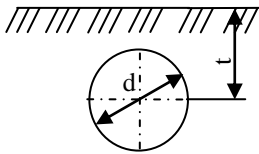
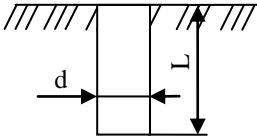
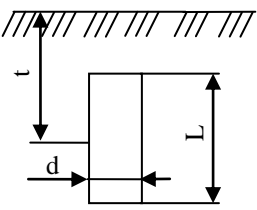
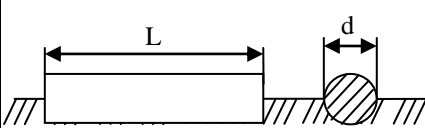
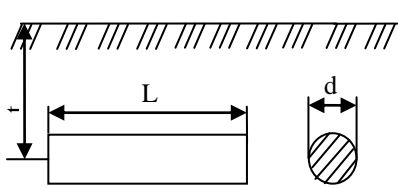
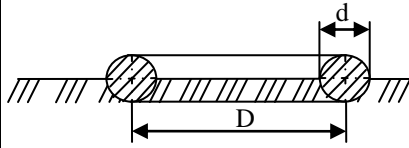
где  $L_r$  - длина горизонтального электрода, м ;'

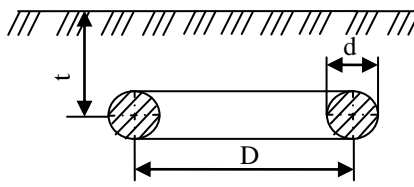
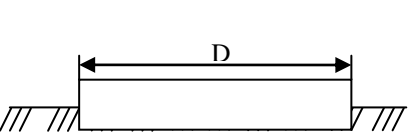
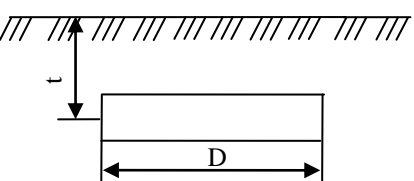
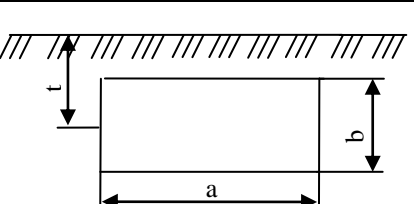


а - расстояние между вертикальными заземлителями, которое может быть равно одной, двум или трем длинам вертикальных заземлителей  $a = (1 \dots 3) L_T$ .

Таблица 1.7

Формулы для вычисления сопротивления единичных заземлителей

Тип заземлителя	Схема	Формула	Условия применения
Полушаровой у поверхности земли.		$R = \frac{\rho}{\pi d}$	-
Шаровой в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi d} \left(1 + \frac{d}{4t}\right)$	$2t \gg d$
Трубчатый или стержневой у поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$	$L \gg d$ , для уголка с шириной $b$ $d=0,95 b$
То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+L}{4t-L} \right)$ или приближенно $R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{d}$	$L \gg d$ , $t \geq 0,5m$ для уголка с шириной $b$ $d=0,95 b$
Протяженный на поверхности земли (труба, стержень, кабель)		$R = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{d}$	$L \gg d$ Для колонны $d=0,5b$ , $b$ -ширина колонны
Протяженный в земле (труба, стержень, кабель)		$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{dt}$	$L \gg d$ , $L \gg 4t$ , $t \geq 0,5m$ Для колонны $d=0,5 b$
Кольцевой круглого сечения на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d}$	Для полосы шириной $b$ : $d=0,5 b$ $D \gg d$

Кольцевой круглого сечения в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{4\pi D^2}{dt}$ или приближенно $R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d}$	$D \gg d,$ $D \gg 2t$ Для полосы шириной $b$ : $d = 0,5 b$
Круглая пластина на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2D}$	$2t \gg D$
Тоже в земле		$R = \frac{\rho}{2D}$ погрешность 30%	
Пластинчатый в земле (пластина поставлена на ребро)		Приближенно $R = \frac{\rho}{4\sqrt{a \cdot b}}$	$t \geq \sqrt{\frac{a \cdot b}{\pi}}$

$\rho$  - удельное сопротивление грунта, Ом м

Коэффициент использования проводимости заземлителя - это показатель, определяющий взаимное влияние заземляющих электродов в контуре заземления (отношение действительной проводимости группового заземлителя к наибольшей возможной его проводимости).

Коэффициент имеет прямую зависимость от взаимного расстояния электродов и оказывает негативное влияние на суммарное сопротивление заземления электродов при сокращении этого расстояния (действительная проводимость заземлителя уменьшается).

Таблица 1.8

Коэффициенты использования  $\eta_e$  вертикальных электродов группового заземления (труб, уголков и т. п.) без учета влияния полосы связи

Число заземлителей n	Отношение расстояний между электродами к их длине					
	1	2	3	1	2	3
	электроды размещены в ряд			электроды размещены по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80

Продолжение таблицы 1.8

10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблица 1.9

Коэффициенты использования  $\eta_r$  горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды (трубы, уголки и т. п.) группового заземлителя

Отношение расстояний между вертикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов							
	22	44	66	110	220	440	660	1100
Вертикальные электроды размещены в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
Вертикальные электроды размещены по контуру								
1	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	-	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	-	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Таблица 1.10

Коэффициенты использования  $\eta_{ГВ}$  параллельно уложенных горизонтальных полосовых электродов грунтового заземлителя (ширина полосы  $b=20\dots40$  мм глубина заложения  $t(0,3\dots0,8$  м)

Длина каждой полосы, м	Число параллельных полос, шт.	Расстояния между параллельными полосами, м				
		1	2,5	5	10	15
15	2	0,63	0,75	0,83	0,92	0,96
	5	0,37	0,49	0,60	0,73	0,79
	10	0,25	0,37	0,49	0,64	0,72
	20	0,16	0,27	0,39	0,57	0,64
25	5	0,35	0,45	0,55	0,66	0,73
	10	0,23	0,31	0,43	0,57	0,66
	20	0,14	0,23	0,33	0,47	0,57
50	2	0,60	0,69	0,78	0,88	0,93
	5	0,33	0,40	0,48	0,58	0,65
	10	0,20	0,27	0,35	0,46	0,53
	20	0,12	0,19	0,25	0,36	0,44

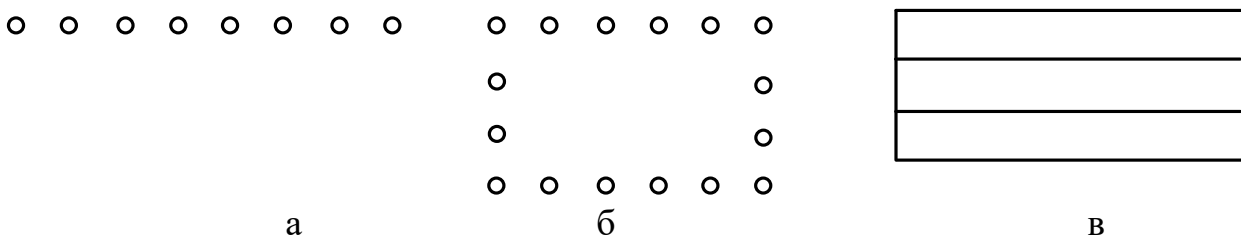


Рисунок 1.6 -Способы размещения электродов группового заземлителя (вид в плане)

- а) вертикальные электроды размещены в ряд;
- б) вертикальные электроды размещены по контуру;
- в) горизонтальные электроды уложены параллельно друг другу на одной глубине.

9) Определяется сопротивление  $R_2=R_{\Gamma}$  растеканию тока горизонтального электрода по соответствующей формуле таблице 6 (в формулу подставляя вместо  $\rho$  значение  $\rho_{расч}$ .

10) Определяется сопротивление растеканию тока искусственных заземлителей:

$$R^1_{И} = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \cdot \eta_B \cdot n} \quad (1.5)$$

где  $\eta_{\Gamma}$  - коэффициент использования горизонтального электрода с учетом вертикальных электродов, определяется по таблице.8 ,

$\eta_B$  - коэффициент использования вертикальных электродов (по таблице 7)

$n$  - число вертикальных электродов, ;

Полученное сопротивление искусственных электродов не должно превышать требуемое сопротивление

$$R^1_{И} \leq R_{ИТР} \quad (1.6)$$

Если это условие не удовлетворяется, то необходимо выбрать другие параметры заземлителей или изменить их количество и провести перерасчет.

11) При отсутствии естественных заземлителей  $R_E$  пункты 3 и 6 опускаются и условие (6) принимает вид

$$R_{И} < R_{доп} = R_{И} \quad (1.7)$$

12) Сопротивление заземления состоит из суммы сопротивления заземлителей растеканию тока и сопротивления заземляющих проводников:

$$R_{\text{э}} = R_{\text{э}}^1 + R_{\text{пр}} \quad (1.8)$$

Сопротивление проводников  $R_{\text{пр}}$  учитывается при большой протяженности проводников (несколько десятков метров).

Сопротивление заземления не должно превышать допустимого значения

$$R_{\text{э}} < R_{\text{И}} = R_{\text{доп}} \quad (1.9)$$

В противном случае требуется изменить параметры заземлителей и провести перерасчет.

### Пример расчета

Рассчитать сопротивление защитного заземления для электропитающей установки мощностью 35 кВт, распределяющего энергию напряжением 380/220 В. Электропитающая установка размещена на первом этаже производственного здания, имеющего металлические конструкции, имеющего хороший контакт с землей. Желательно, чтобы заземляющее устройство включало в себя естественные заземлители, сопротивление растеканию тока, которых  $R_E = 200 \text{ Ом}$ .

Здание имеет периметр 70 м. Грунт - суглинок. Производственное здание размещено во второй климатической зоне.

Решение:

1) Требуемое сопротивление защитного заземления в соответствии с таблицей 3 не должно превышать  $R_{\text{э}} = R_{\text{И}} = 4 \text{ Ом}$ .

2) Определяем расчетное удельное сопротивление грунта в соответствии с данными таблицы 4 и 5

$$\rho_{\text{рас}} = \rho \cdot k = 100 \cdot 1,45 = 145 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

3) Принимаем сопротивление естественных заземлителей равным  $R_{\text{э}} = 20 \text{ Ом}$ .

4) Определяем предварительно конфигурацию заземлителя (в ряд, прямоугольник, и т.п.) с учетом возможности размещения его на отведенной территории участка.

Выбираем контурное размещение заземлителей. Контурный заземлитель размещается по периметру здания, длина которого  $L_{\text{г}} = 70 \text{ м}$ .

5) В качестве искусственных вертикальных заземлителей выбираем стальные стержни длиной  $L = 2,5 \text{ м}$ , диаметром  $d = 12 \text{ мм}$ , верхние концы которых соединяются полосой сечением  $20 \times 4 \text{ мм}^2$ , уложенной в грунт суглинок), при глубине заложения  $t = 0,5 \text{ м}$ .

6) Определяем сопротивление растеканию тока с одного заземлителя  $R_{\text{в}}$ , по соответствующей формуле, приведенной в табл. 6.

$$R_B = \frac{\rho_{pac}}{2\pi L} \left( \ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+L}{4t-L} \right) = \frac{145}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \left( \ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,75 + 2,5}{4 \cdot 1,75 - 2,5} \right) = 55 \text{ Ом}$$

7) Определим предварительно необходимое количество вертикальных заземлителей  $n$ , приняв расстояние между ними

$$a = 2L = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ м} \quad n = \frac{L_{\Gamma}}{a} = \frac{70}{5} = 14 \text{ штук.}$$

8) Определяем сопротивление растеканию тока с одного заземлителя по формуле, приведенной в табл. 6

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{pac}}{2\pi L} \ln \frac{L_{\Gamma}^2}{0,5bt} = \frac{145}{2 \cdot 3,14 \cdot 70} \ln \frac{70^2}{0,5 \cdot 0,0004 \cdot 0,5} = 5,8 \text{ Ом}$$

9) Коэффициент использования вертикальных и горизонтальных электродов определяем по табл. 7 и 8, соответственно с учетом интерполяции  $\eta_B = 0,66$   $\eta_{\Gamma} = 0,36$

10) Сопротивление растеканию группового искусственного заземлителя определяем по формуле:

$$R_u^1 = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B \cdot \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \cdot \eta_B n} = \frac{5,5 \cdot 5,8}{55 \cdot 0,36 + 5,8 \cdot 0,66 \cdot 14} = 4,8 \text{ Ом}$$

11) Общее сопротивление (действительное) заземляющего устройства

$$R_{\text{зy}} = \frac{R_E \cdot R_{II}^1}{R_E + R_{II}^1} = \frac{20 \cdot 4,8}{20 + 4,8} = 3,8 \text{ Ом}, \text{ что меньше требуемого по ГОСТ}$$

12.1.030-

### Методика выполнения работы

1. Получить задание преподавателя и необходимые исходные данные для расчета. Недостающие исходные данные принять самостоятельно.
2. Ознакомиться с принципом действия, порядком расчета защитного заземления.
3. Выполнить расчет защитного заземления.
4. Привести схему размещения заземлителей.
5. Оформить отчет.
6. Ответить на контрольные вопросы.

## Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Выполнить необходимые расчеты по предложенной методике.
3. Расчетные данные записать в таблицу.

Таблица 10

Результаты расчета сопротивления заземляющего устройства

$\rho_{рас}$ Ом·м	$L_{в}$ , м	$K$	$n$ , шт	$L_{з}$ , м	$\eta_в$	$\eta_г$	$R_в$ , Ом	$R_{з}$ , Ом	$R_{зп}$ , Ом	$R_{и}$ , Ом

4. Сравнить найденную величину общего расчетного сопротивления заземляющего устройства  $R_{зп}$ , с допустимым (нормируемым) значением  $R$  и сделать выводы о надежности защиты персонала от поражения электрическим током в случае замыкания на корпус электроустановки.

5. Сделать выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Какими нормативными документами регламентируется заземление?
2. Что такое заземление, защитное заземление?
3. Назначение защитного заземления.
4. Что такое рабочее заземление, его назначение?
5. Что такое замыкание на корпус?
6. Причины замыкания на корпус.
7. Принцип действия защитного заземления.
8. Что такое сопротивление заземления?
9. Области применения защитного заземления.
10. Что такое заземляющее устройство?
11. Назовите типы заземляющих устройств.
12. Что такое выносное заземляющее устройство?
14. Чем характеризуется контурное заземляющее устройство?
15. За счет чего обеспечивается безопасность при контурном заземляющем устройстве?
16. Что такое заземлитель?
17. Что такое проводящая часть?
18. Что такое токоведущая часть?
19. Назовите виды заземлителей.
20. Что применяется для вертикальных и горизонтальных искусственных заземлителей?
21. Каким способом соединяются вертикальные заземлители с горизонтальным электродом?
22. Опишите метод установки вертикальных заземлителей.
23. Из какого материала могут быть выполнены искусственные заземлители?

24. Что такое естественный заземлитель?
25. Что может служить в качестве естественных заземлителей?
26. Укажите достоинства и недостатки естественных заземлителей.
27. Что такое заземляющий проводник?
28. Какой прокат может применяться в качестве заземляющих проводников?
29. Что из естественных проводников может быть рекомендовано в качестве заземляющих проводников?
30. Что запрещено использовать в качестве заземляющих проводников?
31. Назовите правила прокладки заземляющих проводников.
32. Назначение главной заземляющей магистрали (шины).
33. Способы соединения заземляющих проводников между собой, с заземлителями и заземляемыми конструкциями.
34. Допускается ли последовательное включение заземляемого оборудования?
35. Какие материалы могут использоваться для изготовления магистрали (шины)?
36. Какую окраску должны иметь открыто проложенные заземляющие проводники?
37. Укажите допустимые значения сопротивления защитного заземления при напряжении электрической сети до и свыше 1000 В.
38. Охарактеризуйте способ выполнения защитного заземления «в ряд» и «по контуру».



## Список использованных источников

1. ГОСТ 12.1.009-76(99) ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.
2. ГОСТ 12.1.019-79(96) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. (утв. приказом Минэнерго РФ от 8 июля 2002 г. № 204).
5. Беляков Г.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве (охрана труда): учеб. для вузов. СПб.: Лань, 2006. 462 с.
6. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. М.: Колос, 2005. 215 с.
7. <http://www.zandz.ru/> - Сайт проекта «Заземление и защита».
8. Карякин Р.Н. Заземляющие устройства электроустановок: справочник. М.: Энергосервис, 2006. 519 с.

**Варианты заданий для расчета заземления**

<b>№ варианта</b>	<b>Грунт</b>	<b>Климатическая зона</b>	<b>Заземлитель</b>
00	Торф	1	искусственный
01	Чернозем	1	искусственный
02	Садовая земля	1	искусственный
03	Глина	1	искусственный
04	Суглинок	1	искусственный
05	Лесс	1	искусственный
06	Супесок	1	искусственный
07	Песок	1	искусственный
08	Каменистый грунт	1	искусственный
09	Гравий, щебень	1	искусственный
10	Торф	2	искусственный
11	Чернозем	2	искусственный
12	Садовая земля	2	искусственный
13	Глина	2	искусственный
14	Суглинок	2	искусственный
15	Лесс	2	искусственный
16	Супесок	2	искусственный
17	Песок	2	искусственный
18	Каменистый грунт	2	искусственный
19	Гравий, щебень	2	искусственный
20	Торф	3	искусственный
21	Чернозем	3	искусственный
22	Садовая земля	3	искусственный
23	Глина	3	искусственный
24	Суглинок	3	искусственный
25	Лесс	3	искусственный
26	Супесок	3	искусственный
27	Песок	3	искусственный
28	Каменистый грунт	3	искусственный
29	Гравий, щебень	3	искусственный
30	Торф	4	искусственный
31	Чернозем	4	искусственный
32	Садовая земля	4	искусственный
33	Глина	4	искусственный
34	Суглинок	4	искусственный
35	Лесс	4	искусственный
36	Супесок	4	искусственный
37	Песок	4	искусственный
38	Каменистый грунт	4	искусственный
39	Гравий, щебень	4	искусственный

## Практическое занятие 2

### Расчет защитного зануления

**Цель работы:** Изучить требования к занулению для обеспечения электробезопасности, принцип действия защитного зануления электроустановок в сетях до 1000 В. Выбрать сечение фазных и нулевого проводников линии. Рассчитать повторное заземление нулевого провода.

#### Теоретические сведения

*Зануление* – это преднамеренное электрическое соединение с неоднократно заземленным нулевым защитным проводником сети металлических нетоковедущих частей электрооборудования (например, металлического корпуса), которые могут оказаться под напряжением в результате замыкания токоведущих частей на корпус (рисунок 2.1) и по другим причинам.

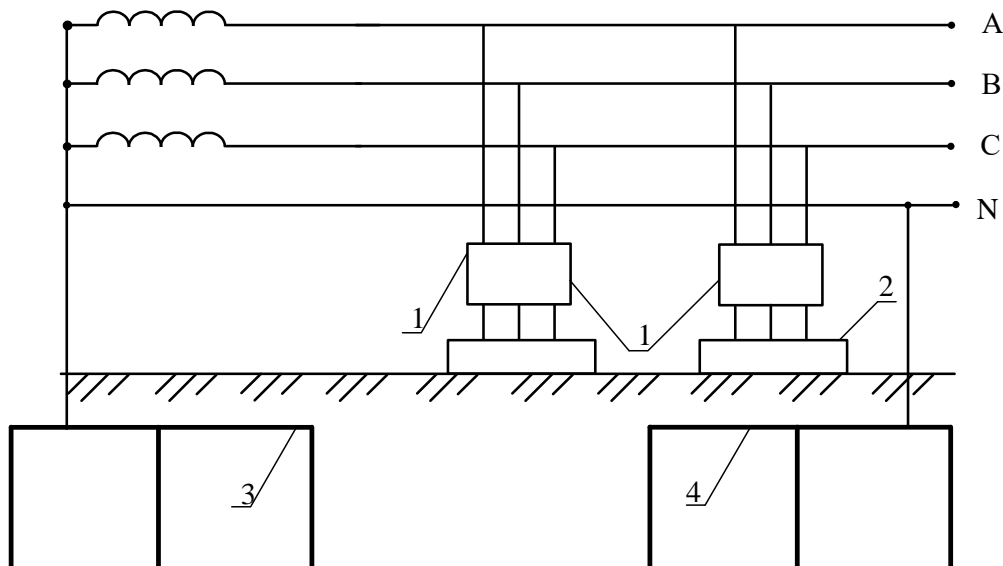


Рисунок 2.1 - Схема защитного зануления:

- A, B, C – фазы электрической сети;
- N – нулевой провод;
- 1-автоматические выключатели;
- 2.- электрооборудование;
- 3.- рабочее заземляющее устройство;
- 4.- – повторное заземляющее устройство нулевого провода.

Зануление – это способ защиты от поражения электрическим током. За счет зануления происходит отключение поврежденного участка сети и одновременно снижается напряжение на металлических корпусах электрооборудования на время, пока не сработает защитная аппаратура. То есть при занулении скачки напряжения отводятся на трансформатор. Это нужно для того, чтобы в

случае попадания тока на нетоковедущую металлическую часть электрооборудования происходило короткое замыкание. Такое замыкание приводит к моментальному срабатыванию систем защиты. Зануление применяется в трехфазных сетях с глухозаземленной нейтралью с напряжением до 1000 В. Это сети 660/380, 380/220 и 220/127 В. Из рисунка 2.2 можно сказать, что схема с занулением требует наличия в сети нулевого провода, заземления нейтрали источника и повторного заземления нулевого провода. В таких сетях заземление не обеспечивает защиты.

Рассмотрим пример.

При однофазном напряжении рисунок 2.2  $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ , ток однофазного короткого замыкания  $I_{\text{кз}} = 220 / (4 + 4) = 27,5 \text{ А}$ , а напряжение на заземленном корпусе  $U_{\text{з}} = I_{\text{кз}} \times R_{\text{зх}} = 27,5 \times 4 = 110 \text{ В}$ .

Корпус оборудования оказывается под опасным напряжением, несмотря на то, что он заземлен.

Поэтому для защиты людей используют не заземление, а зануление рисунок 2.2.

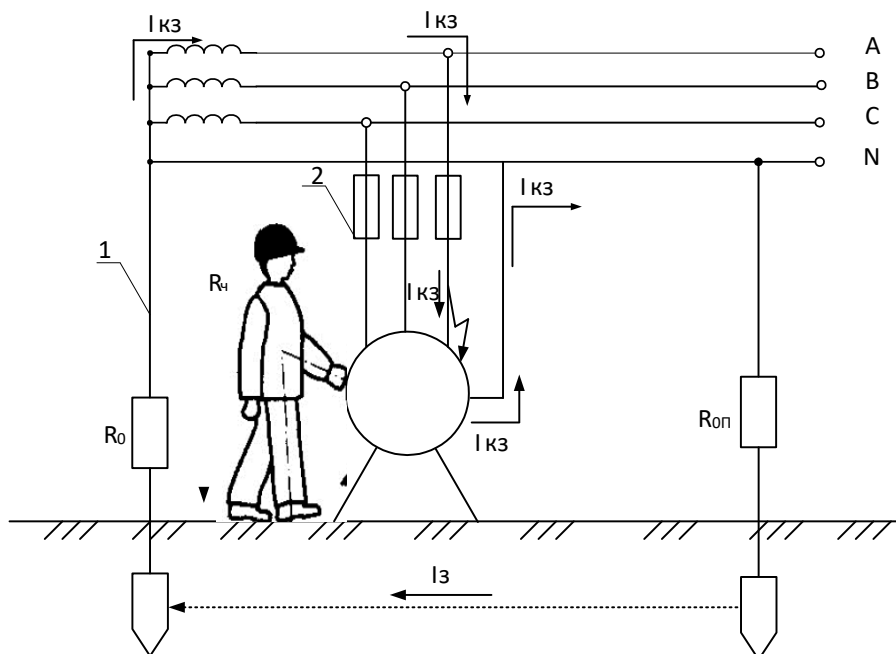


Рисунок 2.2 – схема защитного зануления

1 – нулевой защитный проводник;

2 – отключающий элемент защиты;

$R_0$  – сопротивление заземления нейтрали;

$R_{оп}$  – сопротивление повторного заземления нулевого провода

Нулевой защитный проводник следует отличать от нулевого рабочего проводника. Нулевой рабочий проводник соединен с глухозаземленной нейтральной точкой, выводом и средней точкой обмоток источников тока, но предназначен для питания током электроприемников, (является частью элек-

трической цепи, по которой проходит ток при работе электроприемников). Нулевой рабочий проводник должен, иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводников. Сечение нулевого рабочего проводника должно выдерживать длительное прохождение рабочего тока.

#### *Защитное действие зануления*

При повреждении изоляции и прикосновении фазного проводника с корпусом электроустановки образуется цепь (фаза–корпус–нулевой провод– фаза) В этом случае сопротивление минимальное, а значит соединение фазы с корпусом, при наличии зануления, превращается в однофазное короткое замыкание (КЗ).

При минимальном сопротивлении ток КЗ цепи резко возрастает, в результате этого срабатывает максимальная токовая защита и отключает поврежденный участок сети. В качестве защиты могут служить предохранители, автоматические выключатели с магнито электрическим расцепителем (срабатывающим при коротких замыканиях). Магнитные пускатели с тепловым реле и т.п.

Оказавшиеся под напряжением нетоковедущие металлические части оборудования заземлены через нулевой защитный проводник, то до момента отключения поврежденной электроустановки от сети их напряжение относительно земли снижается.

Таким образом, для схемы зануления необходимо наличие в сети нулевого провода, заземления нейтрали источника и повторного заземления. Назначение нулевого провода – создание для тока КЗ цепи с малым сопротивлением, чтобы этот ток был достаточным для срабатывания защиты, т.е. быстрого отключения поврежденного участка сети. Назначение повторного заземления нулевого провода, которое для воздушных сетей осуществляется через каждые 250 м, состоит в уменьшении потенциала зануленных корпусов при обрыве нулевого провода и при аварийном замыкании фазы на корпус за местом обрыва.

Нулевые проводники нужно прокладывать аккуратно. что бы избежать обрыва. Запрещается устанавливать в нулевом проводе предохранители, рубильники и другие приборы, нарушающие целостность нулевого провода. Назначение заземления нейтрали – снижение до минимального значения напряжения относительно земли нулевого провода и всех присоединенных к нему корпусов при случайном замыкании фазы на землю.

Защитное зануление электроустановок следует выполнять в следующих случаях :

- при номинальных напряжениях электропитания 380 В и выше переменного тока, 440 В и выше постоянного тока во всех случаях в помещениях без повышенной опасности;

- при номинальных напряжениях электропитания, равных и выше 42 В переменного тока, равных и выше 110 В постоянного тока – в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных помещениях и при наружных условиях эксплуатации оборудования;

- при всех напряжениях переменного и постоянного тока во взрывоопасных зонах (помещениях).

Для обеспечения автоматического отключения аварийного оборудования сопротивление цепи короткого замыкания должно быть достаточно малым.

Сопротивление петли «фаза–нуль» следует проверять ежегодно, и оно не должно превышать 2 Ом.

Основное требование безопасности к занулению – обеспечение надежного и быстрого срабатывания защиты.

Расчет зануления имеет целью определить условия, при которых она надежно выполняет возложенные на него задачи – быстро отключает поврежденную установку от сети и в то же время обеспечивает безопасность прикосновения человека к зануленному корпусу в аварийный период.

При этом в соответствии с ПУЭ должны выполняться следующие требования. В электрических сетях с нулевым проводом время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения питания

Номинальное фазное напряжение U, В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Больше 380	0,1

Приведенные в таблице 2.1 значения времени отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе и в групповых цепях, питающих передвижные и переносные электроприемники и ручной электроинструмент класса 1.

#### *Расчет зануления*

Расчет зануления производится с целью определения условий, при которых оно надежно и быстро отключит поврежденную электроустановку от сети и одновременно обеспечит безопасность прикосновения человека к зануленным частям установки в аварийный период (замыкание фазы на корпус электроустановки).

В связи с этим обычно рассчитывают:

- эффективность зануления на отключающую способность;
- сопротивление заземления нейтрали, исходя из условий безопасности при замыкании фазы на землю;
- сопротивление повторных заземлителей нулевого защитного проводника для обеспечения безопасности при замыкании фазы на корпус электроустановки.

#### *Расчет эффективности зануления на отключающую способность*

Расчет на отключающую способность заключается в расчете тока короткого замыкания  $I_{кз}$ , величина которого определяется проводимостью фазных и нулевых защитных проводников и достаточна для срабатывания устройства от-

ключения установки (предохранитель, электромагнитный расцепитель и т.п.) от сети, с учетом условия:

$$I_{кз} \geq k \cdot I_H \quad (2.1)$$

где  $k$  – коэффициент кратности номинального тока: при защите автоматическим выключателем, срабатывающим без выдержки времени,  $k = 1,25 \dots 1,4$  ( $k = 1,25$  для автоматов на ток более 100 А,  $k = 1,4$  для автоматических выключателей с номинальным током 100 А); при защите автоматическим выключателем с обратно зависимой от тока характеристикой  $k \geq 3$  (во взрывоопасных помещениях  $k \geq 6$ ); при защите предохранителями (плавкими вставками)  $k \geq 3$  (во взрывоопасных помещениях  $k \geq 4$ );

$I_H$  – номинальный ток срабатывания устройства защиты.

Номинальный ток срабатывания устройства защиты  $I_H$  определяется исходя из потребляемой мощности установки или суммарной мощности всех потребителей,  $P_y$ , Вт:

$$I_H = k \cdot \frac{P_y}{U} \quad (2.2)$$

где  $k_n = 1,1$  -коэффициент надежности;  $U$  -напряжение питания установки, В.

В таблице 2.2 приведены данные по номинальному току некоторых плавких предохранителей, а в таблице 2.3 данные по номинальному току автоматических выключателей.

Таблица 2.2

Технические характеристики плавких предохранителей

Тип предохранителя	Номинальный ток, А		Наибольший отключаемый ток, А (при $U$ менее 500 В)
	предохранителя	плавких вставок	
НПН 15	15	6, 10, 15	10000
НПН 60М	60	20, 25, 35, 45, 60	30000
ПН2-100	100	30,40,50,60,80,100	50000
ПН2-250	250	80, 100,125,200,250	40000
ПН2-400	400	200,250,300,350,400	25000
ПН2-600	600	300. 400. 500.600	25000
ПН2-1000	100	500,600,750,800,1000	1000

Таблица 2.3

## Технические характеристики плавких автоматических выключателей

Тип автоматического выключателя	Номинальный ток срабатывания, А
A 3120	30, 40, 50, 100
A3114	60
A3124	25,100,430
A3134	120
A3143	600

Ток однофазного короткого замыкания  $I_{кз}$  без учета тока, протекающего через землю, величина которого незначительна, может быть определен по формуле

$$I_{кз} = \frac{U_{\Phi A}}{\left(\frac{Z_{TP}}{3} + z_n\right)} \quad (2.3)$$

где  $U_{\Phi A}$  - напряжение фазы А (В или С), В;

$Z_{mp}$  – модуль полного сопротивления обмоток источника питания (трансформатора, генератора), Ом;

$Z_n$  – модуль полного сопротивления петли «фаза–нуль», Ом.

Модули полных сопротивлений обмоток трехфазных трансформаторов  $Z_{mp}$  при вторичных напряжениях 380/220 В для масляных трансформаторов указаны в таблице 2.4, а для сухих трансформаторов – в таблице 2.5.

Таблица 2.4

Приближенные значения полных сопротивлений  $Z_{тр}$  обмоток масляных трехфазных трансформаторов

Мощность трансформатора, кВ·А	Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, кВ	$Z_{mp}$ , Ом, при схеме соединения обмоток	
		Y/Y <sub>н</sub>	Δ/Y <sub>н</sub> и Y/Z <sub>н</sub>
25	6-10	3,110	0,906
40	6-10	1,950	0,562
63	6-10	1,240	0,360
63	25-35	1,140	0,407
100	6-10	0,800	0,226
100	25-35	0,764	0,327
160	6-10	0,487	0,142
160	25-35	0,478	0,203
250	6-10	0,312	0,090
250	25-35	0,305	0,130
400	6-10	0,195	0,056
630	6-10	0,129	0,042
630	25-35	0,121	-



Знаки для обозначения схемы соединений трансформаторов обмоток высшего и низшего напряжений:

Y – звезда;

Y<sub>н</sub> – звезда с выведенной нулевой точкой;

Δ – треугольник;

Z<sub>н</sub> – зигзаг с выведенной нулевой точкой.

Таблица 2.5

Приближенные значения полных сопротивлений Z<sub>тр</sub> обмоток сухих трансформаторов

Мощность трансформатора, кВ·А	Схема соединения обмоток	Z <sub>тр</sub> , Ом
160	Δ/ Y <sub>н</sub>	0,165
180	Y/Y <sub>н</sub>	0,453
250	Δ/ Y <sub>н</sub>	0,106
320	Y/Y <sub>н</sub>	0,254
400	Δ/ Y <sub>н</sub>	0,066
560	Y/Y <sub>н</sub>	0,130
630	Δ/ Y <sub>н</sub>	0,042
750	Y/Y <sub>н</sub>	0,109

Модуль полного сопротивления петли «фаза - нуль» определяется по формуле

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_{\phi} + R_{H.3})^2 + (x_{\phi} + x_{H.3} + x_n)^2} \quad (2.3)$$

где R<sub>φ</sub> и R<sub>н.з</sub> – активные сопротивления фазного и нулевого защитных проводников, Ом;

x<sub>φ</sub> и x<sub>н.з</sub> – внутренние индуктивные сопротивления фазного и нулевого защитных проводников, Ом;

x<sub>п</sub> – внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза–нуль», Ом.

Активное сопротивление петли «фаза–нуль» (R<sub>φ</sub>+R<sub>н.з</sub>) для проводников из цветных металлов определяют по формуле

$$R_{\phi} + R_{H.3} = \sum_{i=1}^k \frac{\rho_i \cdot l_i}{S_i} \quad (2.4)$$

где, ρ<sub>i</sub>-удельное сопротивление материала i-го участка проводника (для меди ρ= 0,0175 Ом·мм<sup>2</sup>/м, для алюминия ρ = 0,028 Ом·мм<sup>2</sup>/м);

l<sub>i</sub>, м – длина i-го участка проводника, имеющего одинаковое поперечное сечение S<sub>i</sub>, мм<sup>2</sup> (фаза – нуль), и выполненного из одного материала;

k – число участков, образующих цепь «фаза–нуль».

Внутреннее индуктивное погонное сопротивление медных и алюминиевых фазного и нулевого защитных проводников (x<sub>φ</sub>+x<sub>н.з</sub>) сравнительно мало

(около 0,0156 Ом/км), поэтому при инженерных расчетах им можно пренебречь.

Внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза–нуль»  $x_{\Pi}$  для медных и алюминиевых проводников в приближенных расчетах принимают равным 0,3 Ом/км для внутренней проводки и 0,6 Ом/км соответственно для воздушных линий.

Погонное активное и внешнее индуктивное сопротивления стальных фазных и нулевых защитных проводников при частоте тока 50 Гц можно определить с достаточной точностью по таблице 2.6

Таблица 2.6

Активное и внешнее индуктивное сопротивления фазных и нулевых защитных проводников при частоте тока 50 Гц (Ом/км)

Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Активное сопротивление проводников или жил кабеля при 20 °С		Индуктивное сопротивление алюминиевых и сталеалюминиевых проводов воздушных линий при среднем расстоянии между проводами, мм					Индуктивное сопротивление проводов и кабелей, г	
	медных	алюминиевых, сталеалюминиевых	800	1000	1500	2000	2500	проложен открыто	трубах или кабель
10	1,64	3,14	-	-	-	-	-	0,32	0,07
16	1,2	1,96	0,374	0,389	0,411	0,480	0,442	0,29	0,07
25	0,74	1,27	0,362	0,376	0,398	0,407	0,417	0,27	0,06
35	0,54	0,91	0,349	0,364	0,388	0,404	0,412	0,26	0,06
50	0,39	0,63	0,339	0,354	0,377	0,395	0,409	0,25	0,06
70	0,28	0,45	0,290	0,343	0,367	0,385	0,399	0,24	0,06
95	0,20	0,33	0,318	0,332	0,355	0,374	0,389	0,23	0,06
120	0,158	0,27	0,315	0,325	0,349	0,368	0,382	0,22	0,06
150	0,123	0,21	0,311	0,315	0,344	0,360	0,374	0,21	0,06

Рекомендуется применять силовые трансформаторы со схемами включения обмоток «треугольник-звезда» ( $\Delta/Y_{\Pi}$ ) при мощности 400 кВ·А и выше и «звезда–зигзаг» ( $Y/Z_{\Pi}$ ) при мощности 250 кВ·А и ниже. Допускается устанавливать силовые трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда–звезда» ( $Y/Y_{\Pi}$ ) независимо от мощности при условии соблюдения требований к отношению кратности тока однофазного короткого замыкания номинальному току устройств максимальной токовой защиты.

После расчета тока однофазного короткого замыкания для выбранного средства автоматической защиты проверяют выполнение условия (2.1).

Если это условие не выполняется, то необходимо увеличить сечение проводников и в первую очередь нулевого защитного проводника.

*Расчет сопротивления заземления нейтрали и повторных заземлителей нулевого провода*

Расчет заземления нейтрали источника питания и повторных заземлений нулевого провода выполняется аналогично расчету защитного заземления электроустановок. При этом сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединяются нейтрали источников питания (трансформаторов, генераторов), а также каждого повторного заземлителя не должно превышать значений, указанных в таблице 2.7. Эти сопротивления должны обеспечиваться использованием естественных заземлений и повторных заземлений нулевого проводника воздушных линий напряжением до 1 кВ при числе отходящих линий не менее двух.

Таблица 2. 7

Сопротивления нейтрали источника питания и повторных заземлений нулевого провода отходящих воздушных линий

Напряже- ние, В	Сопротивление заземления нейтрали трансформатора, Ом		Сопротивление повторного заземления нулевого провода, Ом	
	(с учетом использования естественных заземлителей и повторных заземлений нулевого провода)	в том числе только искусственных заземлителей	эквивалентное сопротивление всех повторных заземлений	в том числе сопротивление каждого повторного заземления
660/380	2	15	5	15
380/220	4	30	10	30
220/127	8	60	20	60

### Пример расчета

Расчитать величину номинального тока срабатывания устройства защиты (плавкой вставки, предохранителя или электромагнитного расцепителя), выбрать тип устройства защитного отключения.

Исходные данные:

- потребляемая мощность электроустановки  $P_y = 20$  кВт;
- сеть трехфазная четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью от масляного трансформатора со схемой соединения обмоток  $Y/Y_n$  ( $U = 380/220$  В, номинальное напряжение обмоток высшего напряжения – 6 кВ,  $P_c = 100$  кВ·А) (рисунок 2.3);
- нулевой и фазный проводники выполнены в здании открытой проводкой из алюминия одинакового сечения  $S = 50$  мм<sup>2</sup>, причем длина фазного проводника составляет  $l_{i,ф} = 500$  м, а нулевого защитного проводника  $l_{н,з} \leq 10$  м.



щитного проводника  $R_{н.з}$  можно пренебречь ( $R_{н.з} \rightarrow 0$ ), тогда полное сопротивление петли «фаза–нуль» будет равно:

$$Z_{II} = \sqrt{R_{\phi}^2 + x_n^2}$$

где  $R_{\phi} = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,028 \cdot 500}{50} = 0,28 \text{ Ом};$

$R_{\phi}$  определяется по формуле (2.4);  
для алюминия  $\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}.$

Внешнее индуктивное сопротивление петли «фаза–нуль»  $x_n$  определяется, как  $x_n = r l$

где  $r$  – внешнее индуктивное сопротивление проводника, Ом/км. Для открытой проводки алюминиевых проводников сечением  $S = 50 \text{ мм}^2$   
 $r = 0,25 \text{ Ом/км}$  таблица 2.4, тогда  $x_n = 0,25 \cdot 0,5 = 0,125 \text{ Ом}.$

Значение сопротивления петли «фаза–нуль»,

$$Z_{II} = \sqrt{R_{\phi}^2 + x_n^2} = \sqrt{0,28^2 + 0,125^2} = 0,307$$

Подставляя полученные значения параметров  $Z_{mp}, Z_n, U_{\phi.A}$ , получим искомое значение для тока короткого замыкания, А:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi.A}}{\left(\frac{z_{TP}}{3} + z_n\right)} = \frac{220}{\left(\frac{0,8}{3}\right) + 0,307} = 383 \text{ А}$$

Определяется номинальный ток срабатывания устройства защиты при коэффициенте надежности, равном  $k_n = 1,1$ , А:

$$I_n = k \cdot \frac{P_y}{U} = 1,1 \cdot \frac{20 \cdot 10^3}{220} = 100 \text{ А}$$

При коэффициенте кратности, равном  $k = 1,4$ , требование условия срабатывания отключающего устройства (устройства защиты) выполняется с запасом:  
 $383 > 1,4 \cdot 100 \text{ А}.$

Если это условие не выполняется, то необходимо увеличить сечение проводников и, в первую очередь, нулевого защитного проводника и повторить расчет.

Выбираем тип автоматического выключателя А3120 по таблице 2.3 с номинальным током срабатывания  $I_n = 100 \text{ А}.$

### Методика выполнения работы

1. Получить задание преподавателя и необходимые исходные данные для расчета.
2. Ознакомиться с принципом действия, порядком расчета защитного зануления.

3. Выполнить расчет защитного зануления.
4. Оформить отчет.
5. Ответить на контрольные вопросы.

**Содержание отчета:**

1. Название и цель работы.
2. Выполнить необходимые расчеты по предложенной методике по варианту предложенному преподавателем.
3. Результаты оформить в виде таблицы 2.6.

Таблица 2.6

Результаты расчета трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью на отключающую способность

Полное сопротивление обмоток трансформатора, $Z_{mp}$ , Ом	Суммарное сопротивление петли «фаза–нуль», $Z_{\Sigma}$ , Ом	Расчетный ток короткого замыкания, $I_{кз}$ , А	Номинальный ток срабатывания элементов защиты, $I_{ном}$ ,	Тип автоматического выключателя	Номинальный ток срабатывания отключающего устройства, $I_{пл}$ , А

4. Сделать выводы по работе

Задания для расчета приведены в таблице 1 в приложении.

**Контрольные вопросы**

1. Принцип действия защитного зануления и область его применения.
2. Назначение нулевого защитного проводника.
11. В чем заключается принципиальная разница между защитным занулением и защитным заземлением?
5. Распределение потенциала по длине нулевого защитного проводника при замыкании фазного проводника на зануленный корпус потребителя.
6. Требования нормативных документов к системе защитного зануления.
7. Расчет зануления на отключающую способность.

## Список использованных источников

1. Кудрин Б.И., Жилин Б.В., Матюнина Ю.В. Электроснабжение потребителей и режимы: учеб. пособие. М.: Изд. дом МЭИ, 2013. 412 с.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2011. 192 с.
3. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1984. 448 с.: ил.
4. Долин П.А., Медведев В.Т., Корочков В.В. Электробезопасность: задачник. М.: Гардарики, 2003. 215 с.
5. Красник В.В. Правила устройства электроустановок в вопросах и ответах: пособие для изучения и подготовки к проверке знаний. М.: ЭНАС, 2009. 512 с.
6. Цапенко Е.Ф., Шкундин С.З. Электробезопасность на горных предприятиях: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Электроснабжение», направление подготовки дипломированных специалистов «Электроэнергетика». М.: МГГУ, 2008. 103 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/100037/>
7. Сибикин Ю.Д. Охрана труда и электробезопасность. М.: РадиоСофт, 2007. 408 с.
8. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. М.: НТБЦПБ, 2012. 584 с.
9. Межотраслевые правила по охране труда (Правила безопасности) при эксплуатации электроустановок ПОТ РМ-016-2001, РД 153.34.0-03. 150-00. М.: КноРус, 2009. 168 с.

## Варианты заданий для расчета

Но- мер вари- анта	Номиналь- ное напря- жение пита- ния оборудо- вания, $U_{ном}$ , В	По- требля- емая мощ- ность элект- роуста- новки, $P_y$ , кВт	Система монтажа линий потребителя	Данные проводников линий по- требителя		
				материал проводни- ков петли «фаза–нуль»	длина участ- ка пет- ли «фаза– нуль» $\lambda_i$ , м	сечение про- водни- ков $S$ , мм <sup>2</sup>
1	380/220	25	внутренняя проводка	алюминий	100	16
2	380/220	50	Воздушная линия	медь	200	25
3	220/127	75	внутренняя проводка	медь	300	35
4	380/220	100	Воздушная линия	алюминий	400	50
5	220/127	120	внутренняя проводка	медь	500	70
6	380/220	140	Воздушная линия	алюминий	100	95
7	220/127	160	внутренняя проводка	медь	200	120
8	380/220	180	Воздушная линия	алюминий	300	150
9	220/127	200	внутренняя проводка	медь	400	185
10	380/220	220	Воздушная линия	алюминий	500	200
11	220/127	25	внутренняя проводка	алюминий	100	35
12	380/220	50	Воздушная линия	алюминий	200	50
13	220/127	75	внутренняя проводка	медь	300	70
14	380/220	100	Воздушная линия	алюминий	400	95
15	220/127	120	внутренняя проводка	медь	500	120
16	380/220	140	Воздушная линия	алюминий	100	150
17	220/127	160	внутренняя проводка	медь	200	185
18	380/220	180	Воздушная линия	медь	300	200
19	220/127	200	внутренняя проводка	алюминий	400	35
20	380/220	220	Воздушная линия	алюминий	500	50
21	220/127	25	внутренняя проводка	медь	100	70
22	380/220	50	Воздушная линия	алюминий	200	95
23	380/220	75	внутренняя проводка	медь	300	120
24	380/220	100	Воздушная линия	алюминий	400	150



Учебное издание

Иванюга Михаил Михайлович

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ  
ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ**

**РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ И ЗАНУЛЕНИЯ**

Методические пособия  
для выполнения практических работ  
для студентов направления подготовки  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Редактор Осипова Е.Н.

---

Подписано к печати 18.05.2023 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Усл. п. л. 2,38. Тираж 25 экз. Изд. № 7531.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ