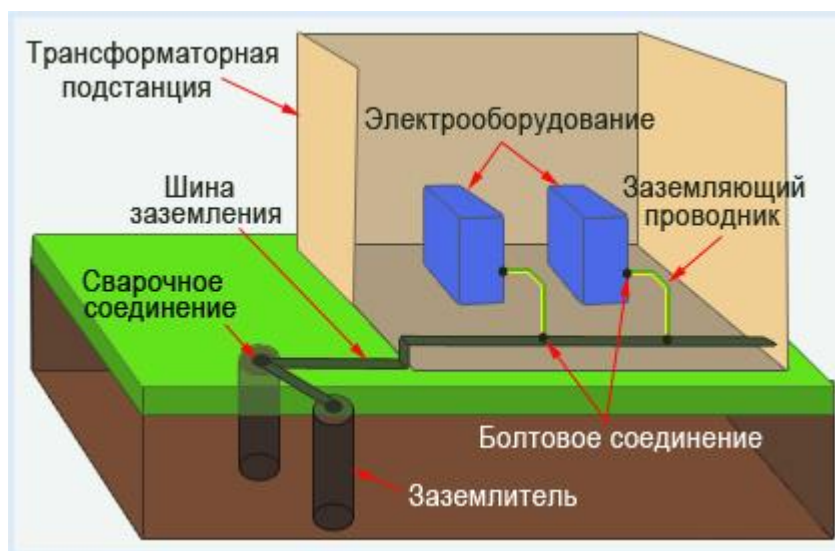


Контрольные и практические работы по теме «Электробезопасность. Расчет защитного заземления трансформаторной подстанции»

Методические указания



Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»
Институт нефти и газа им. М.С. Гущериева
Кафедра теплоэнергетики

Контрольные и практические работы
по теме «Электробезопасность. Расчет защитного
заземления трансформаторной подстанции»

Методические указания



Ижевск
2015

УДК 62-783
ББК 31.29н
К65

Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ

Рецензент: В.В. Павкин, начальник отдела ОАО «Волжская ТГК».

Составители: к.ф.-м.н., доцент О.А. Бартенев; доцент В.К. Жуков;
В.В. Зиновьев.
под редакцией доцента О.А. Бартенева.

К65 Контрольные и практические работы по теме «Электробезопасность. Расчет защитного заземления трансформаторной подстанции». Методические указания. / Сост.: О.А. Бартенев, В.К. Жуков, В.В. Зиновьев; под редакцией доцента О.А. Бартенева Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2015. — 29 с.

Методические указания предназначены для студентов бакалавриата направлений подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» при выполнении контрольной и других возможных видов самостоятельной работы.

Содержат основные сведения по вопросам защитного заземления и зануления электроустановок, нормы, правила электробезопасности и пример расчета защитного заземления для трансформаторной подстанции.

Могут быть использованы студентами других направлений, специальностей и профилей подготовки при расчёте защитного заземления.

УДК 62-783
ББК 31.29н

© Сост.: О.А. Бартенев, В.К. Жуков,
В.В. Зиновьев, 2015
© ФГБОУ ВПО «Удмуртский
государственный университет»,
2015

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Основные элементы электробезопасности. Заземление и зануление электроприборов, электрооборудования и электрических сетей.....	5
2. Заземляющие и зануляющие устройства.....	6
2.1 Заземление	6
2.2 Зануление	7
3. Обозначения в системах заземления.....	9
4. Основные схемы заземления	9
4.1. Система заземления TN-C (Совмещенные - рабочий нулевой и защитный нулевой провод-PEN проводник).....	9
4.2. Система заземления TN-C-S (совмещение N и PE проводников на вводе (в щитке) электроприемника).....	10
4.3. Система заземления TN-S (Раздельно проложенные N и PE проводники в сети питания).....	11
4.4. Система заземления TT	11
4.5. Система заземления IT	11
4.6. Схема контурного заземления здания	12
4.7. Система заземления дома.....	12
4.8. Меры для защиты от поражения электрическим током	13
4.9. Контроль изоляции проводов	13
5. Отличие заземления от зануления	14
6. Критерии выбора электрозащиты в электроустановках.....	14
7. Основные закономерности и методика расчета заземления трансформаторной подстанции	16
8. Методика расчета заземлителя [1]	17
9. Пример расчета заземления	23
10. Пояснения и рекомендации	25
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	26

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа предназначена оказать помощь студентам, начинающим изучать электротехнику, требования охраны труда, промышленной безопасности и электробезопасности в частности, при освоении выбранной профессии.

Работа знакомит студентов с основами электробезопасности и в частности с методами обеспечения коллективной безопасности при работе с электрооборудованием, используя различные методы защитного заземления и зануления.

Работа ориентирована на студентов направления подготовки ВПО 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», но может быть интересна и использована студентами технических специальностей других направлений подготовки как высшего профессионального образования, так и среднего профессионального образования, изучающих электротехнику, электронику и электробезопасность.

Промышленная безопасность и охрана труда составляет важную сферу деятельности человека во всех отраслях народного хозяйства. Эта деятельность контролируется и нормируется государством. На это направлены определенные государственные Стандарты, разработанные Технические Регламенты, ПУЭ ПТЭ [1-4].

Важным элементом промышленной безопасности является электробезопасность, отражающая определенную опасность работы человека с электротехническими приборами и устройствами.

При возникновении пробоя изоляции между фазой и корпусом электроустановки корпус ее может оказаться под напряжением. Если к корпусу в это время прикоснулся человек - ток, проходит через человека, и представляет иногда смертельную опасность, потому что основная часть тока потечет по нему.

Следует отметить, что применение тех или иных систем электрозащиты, в том числе использование заземления и зануления, устройств защитного отключения (УЗО) зависит от вида объекта защиты, требований к защите, условий эксплуатации и других факторов, включая значения напряжений, тока. В частности, токи неисправностей, возникающие в установках, прерываются УЗО, плавкими предохранителями и автоматическими выключателями. Эти токи появляются в результате аварии или нарушения изоляции между проводниками.

1. Основные элементы электробезопасности. Заземление и зануление электроприборов, электрооборудования и электрических сетей.

1.1 Одним из главных требований электробезопасности при эксплуатации электрооборудования, приборов и устройств, использующих электроэнергию является обязательное наличие заземления или зануления, в соответствии с Правилами устройства электроустановок ПУЭ [4].

1.2 Понятия «заземление» и «зануление» тесно связаны с понятием нейтрали. Нейтраль — точка схождения трех фаз через обмотки в трансформаторе источника питания, соединенные звездой. Если эту точку соединить с заземлителями (см. ниже) то образуется глухо заземленная нейтраль трансформатора, а всю общую систему называют заземленной. Если к этой точке присоединить (приварить) шину (металлический проводник) и соединить её со всеми приборами и аппаратами, то оборудование окажется заземленным. Если нейтраль соединить с шиной (нулевой шиной) без присоединения к заземлителям, то образуется изолированная нейтраль трансформатора, тогда общую систему называют зануленной. Если эту шину соединить со всеми приборами и аппаратами, то оборудование будет зануленным. По заземленному или зануленному проводнику течет ток только при перекосе фаз или при аварийных режимах работы системы.

На основании этого рассматривают различные системы (схемы) заземления и зануления электрооборудования и сетей (TN-S, TN-C, IT и другие, см. ниже).

Итак-заземление или зануление электрооборудования является одним из важнейших элементов коллективной защиты эксплуатирующего и обслуживающего персонала от поражения электрическим током.

2. Заземляющие и зануляющие устройства

Заземляющие (зануляющие) устройства содержат проводящие линии (проводники) и заземлители, соединенные определенным образом.

2.1 Заземление

Назначение, принцип действия, область применения. Защитное заземление – 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 соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т. п.).

Проводящие линии в заземляющих устройствах играют разную роль.

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

Нулевым защитным проводником (PE – 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.

Ниже будут приведены схемы соответствующих систем заземления и зануления электрооборудования.

Заземлители

Существуют два вида заземлителей – естественные и искусственные.

К естественным заземлителям относятся металлические конструкции зданий, надежно соединенные с землей.

В качестве искусственных заземлителей используют стальные трубы, стержни или уголок, длиной не менее 2,5 м, забитых в землю и соединенных друг с другом стальными полосами или приваренной проволокой. В качестве заземляющих проводников, соединяющих

заземлитель с заземляющими приборами обычно используют стальные или медные шины, которые либо приваривают к корпусам машин, либо соединяют с ними болтами. Защитному заземлению подлежат металлические корпуса электрических машин, трансформаторов, щиты, шкафы.

Заземление значительно снижает напряжение, под которое может попасть человек. Это объясняется тем, что проводники заземления, сам заземлитель и земля имеют некоторое сопротивление. При повреждении изоляции ток замыкания протекает по корпусу электроустановки, заземлителю и далее по земле к нейтрали электроустройства, вызывая на их сопротивлении падение напряжения, которое хотя и меньше 220 В, но может быть ощутимо для человека. Для уменьшения этого напряжения необходимо принять меры к снижению сопротивления заземлителя относительно земли, например, увеличить количество искусственных заземлителей.

2.2 Зануление

Назначение, принцип действия, область применения. 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.

Зануление приводит к тому, что замыкание любой из фаз на корпус электроустановки превращается в короткое замыкание этой фазы с нулевым рабочим проводом. Ток в этом случае возникает значительно больший, чем при использовании защитного заземления. Быстрое и полное отключение поврежденного оборудования (с помощью автоматов защиты) — основное назначение зануления.

Нулевой рабочий проводник (N) служит для питания электроустановок и имеет одинаковую с другими проводами изоляцию и достаточное сечение для прохождения рабочего тока.

Нулевой защитный проводник (PE) служит для создания кратковременного тока короткого замыкания для срабатывания защиты и быстрого отключения поврежденной электроустановки от питающей сети. В качестве нулевого защитного провода могут быть использованы стальные трубы электропроводок и нулевые провода, не имеющие предохранителей и выключателей.

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 рабочим (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.

В чем отличие зануляющего проводника от нулевого рабочего проводника?

Зануляющий проводник предназначен только для зануления. В нормальном эксплуатационном режиме ток по нему не проходит.

В сетях с глухозаземленной нейтралью нулевой провод обязательно следует заземлить, причем в нескольких местах. Основное заземление нулевого провода – на питающей подстанции, повторные – на линии электропередачи и на вводах в помещения.

Зануленное оборудование потребителей обычно заземлять не нужно. Нулевой провод сети надежно заземлен и поэтому оборудование, присоединенное к нему, в дополнительном заземлении не нуждается.

Зануление выполняют соединяя корпуса электрооборудования с нулевым проводом сети. При этом каждый корпус должен быть присоединен к нулевому проводу сети отдельным проводником.

Зануление должно обеспечить надежное автоматическое отключение участка сети, на котором произошло замыкание. Благодаря занулению любое замыкание на корпус превращается в короткое замыкание и поэтому аварийный участок сразу же отключается автоматом или предохранителями.

3. Обозначения в системах заземления

Системы заземления различаются по схемам соединения и числу нулевых рабочих и защитных проводников.

Первая буква в обозначении системы заземления определяет характер заземления источника питания:

T — непосредственное соединения нейтрали источника питания с землёй.

I — все токоведущие части изолированы от земли.

Вторая буква в обозначении системы заземления определяет характер заземления открытых проводящих частей электроустановки здания:

T — непосредственная связь открытых проводящих частей электроустановки здания с землёй, независимо от характера связи источника питания с землёй.

N — непосредственная связь открытых проводящих частей электроустановки здания с точкой заземления источника питания.

Буквы, следующие через чёрточку за N, определяют способ устройства нулевого защитного и нулевого рабочего проводников:

C — функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников обеспечиваются одним общим проводником PEN.

S — функции нулевого защитного PE и нулевого рабочего N проводников обеспечиваются отдельными проводниками.

4. Основные схемы заземления

4.1. Система заземления TN-C (Совмещенные - рабочий нулевой и защитный нулевой провод-PEN проводник)

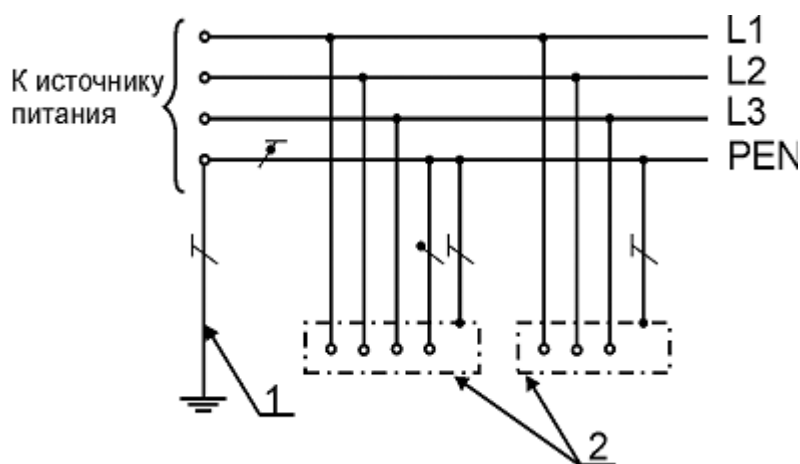


Рис 1. Система заземления TN-C

1 - линия заземления;

2 - нулевой рабочий провод;

1.Заземление источника питания; 2. Открытые проводящие части

К системе TN-C относятся трехфазные четырехпроводные (три фазных проводника и PEN проводник, совмещающий функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников) и однофазные двухпроводные (фазный и нулевой рабочий проводники) сети зданий старой постройки. Эта система простая и дешевая, но она не обеспечивает необходимый уровень электробезопасности.

4.2. Система заземления TN-C-S (совмещение N и PE проводников на вводе (в щитке) электроприемника)

В настоящее время применение системы TN-C на вновь строящихся и реконструируемых объектах не допускается. При эксплуатации системы TN-C в здании старой постройки, предназначенном для размещения компьютерной техники и телекоммуникаций, необходимо обеспечить переход от системы TN-C к системе TN-S, т.е. к (TN-C-S).

Система TN-C-S характерна для реконструируемых сетей, в которых нулевой рабочий и защитный проводники объединены только в части схемы, во вводном устройстве электроустановки (например, вводном квартирном щитке).

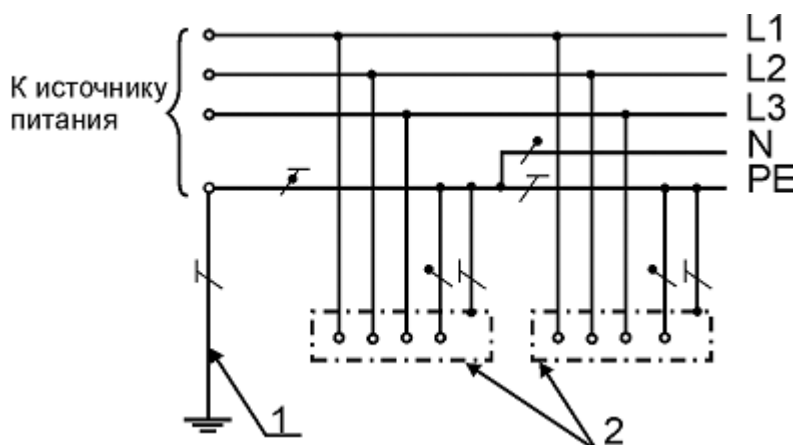


Рис 2. Система заземления TN-C-S (в части сети нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены, т.е. до точки их разъединения имеем PEN проводник, затем отдельные PE и N)

1-заземление источника питания, 2-открытые проводящие части.

Во вводном устройстве электроустановки совмещенный нулевой защитный и рабочий проводник PEN разделен на нулевой защитный проводник PE и нулевой рабочий проводник N. При этом нулевой защитный проводник PE соединен со всеми открытыми токопроводящими частями электроустановки. Система TN-C-S является перспективной для нашей страны, позволяет обеспечить высокий уровень электробезопасности при относительно небольших затратах.

4.3. Система заземления TN-S (Раздельно проложенные N и PE проводники в сети питания)

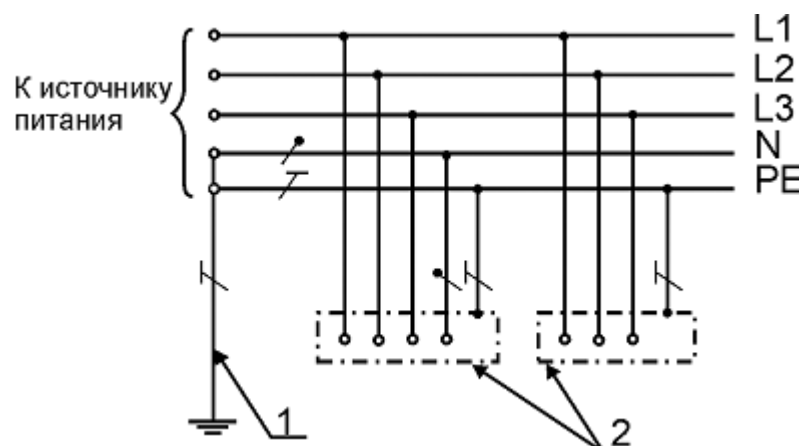


Рис 3 Схема заземления TN—S

В системе TN-S нулевой рабочий и нулевой защитный проводники проложены отдельно. С подстанции приходит пятижильный кабель. Отметим, что в точке глухозаземленной нейтрали на подстанции они (N и PE) соединены. Все открытые проводящие части электроустановки соединены отдельным нулевым защитным проводником PE. Такая схема исключает обратные токи в проводнике PE, что снижает риск возникновения электромагнитных помех. Хорошим вариантом для минимизации помех является пристроенная трансформаторная подстанция (ТП), что позволяет обеспечить минимальную длину проводника от ввода кабелей электроснабжения до главного заземляющего зажима. Система TN-S при наличии пристроенной подстанции не требует повторного заземления, так как на этой подстанции имеется основной заземлитель. Такая система широко распространена в Европе.

4.4. Система заземления TT

В системе TT трансформаторная подстанция имеет непосредственную связь токоведущих частей с землёй. Все открытые проводящие части электроустановки здания имеют непосредственную связь с землёй через заземлитель, электрически не зависимый от заземлителя нейтрали трансформаторной подстанции.

4.5. Система заземления IT

В системе IT нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части заземлены. Ток утечки на корпус или на землю будет низким и не повлияет на условия работы присоединенного оборудования. Такая система используется, как правило,

в электроустановках зданий, к которым предъявляются повышенные требования по безопасности.

4.6. Схема контурного заземления здания

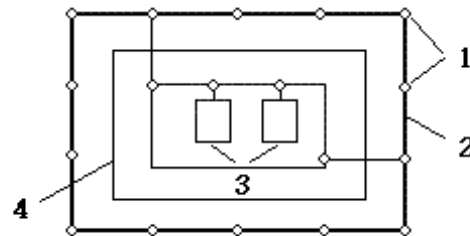


Рис 4 Схема контурного заземления

- 1.Заземлители;
- 2.Заземляющие проводники;
- 3.Заземляемое оборудование;
- 4. Производственное здание.

4.7. Система заземления дома

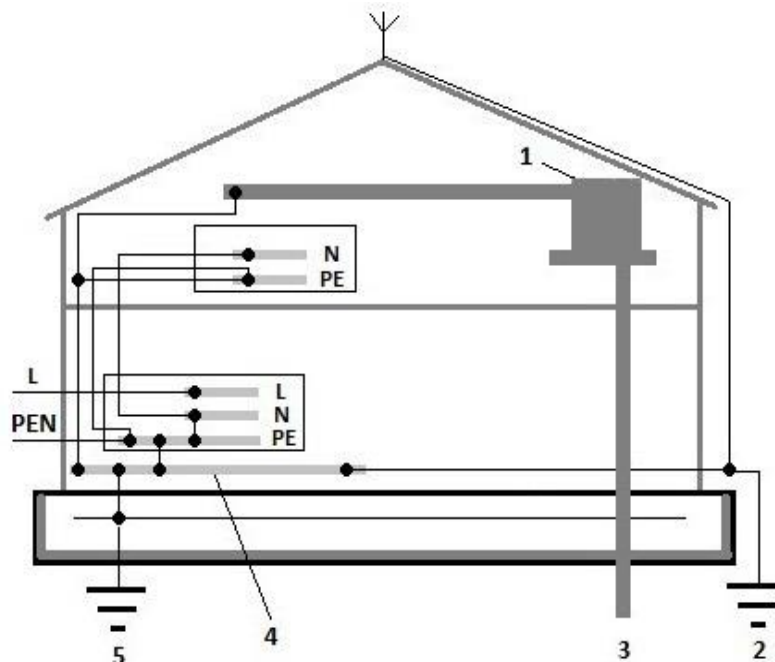


Рис 5 Схема заземления дома

- 1.Водонагреватель;
- 2.Заземлитель молниезащиты;
- 3.Металлические трубы водопровода, канализации;
- 4.Главная заземляющая шина;
- 5. Естественный заземлитель (арматура фундамента здания).

4.8. Меры для защиты от поражения электрическим током

Для защиты человека от поражения электрическим током применяют защитные средства - резиновые перчатки, инструмент с изолированными ручками, резиновые боты, резиновые коврики, предупредительные плакаты.

4.9. Контроль изоляции проводов

Для предупреждения несчастных случаев от поражения электрическим током необходимо контролировать состояние изоляции проводов электроустановок. Состояние изоляции проводов проверяют в новых установках, после реконструкции, модернизации, длительного перерыва в работе. Профилактический контроль изоляции проводов проводят не реже 1 раза в 3 года. Сопротивление изоляции проводов измеряют мегаомметрами на номинальное напряжение 1000 В на участках при снятых плавких вставках и при выключенных токоприемниках между каждым фазным проводом и нулевым рабочим проводом и между каждыми двумя проводами. Сопротивление изоляции должно быть не меньше 0,5 Мом.

5. Отличие заземления от зануления

Отличие заземления от зануления значительное. Зануление согласно ПУЭ – это преднамеренная защита, которая используется исключительно в промышленных целях и не должна практиковаться на бытовом уровне.

Но все же, очень часто, в квартирах делается зануление. По всем прогнозам, такая система далека от совершенства и совсем не безопасна. Почему же тогда прибегают к такой крайней мере? Отчасти из-за недостатка знаний в этой области, или из-за безвыходной ситуации.

Во время ремонта квартиры многие делают полный или частичный электромонтаж не только с целью удобства расположения розеток и выключателей, но и для замены изношенной электропроводки. Так же, современный человек желает сделать свое жилье более безопасным, поэтому, пожелания заказчика сводятся к тому, чтобы в доме было зануление.

В трехфазной системе, т.е. по системе заземления TN-C-S или TN-S. в домах зануление не применяют (необходимость использования УЗО).

6. Критерии выбора электрозащиты в электроустановках

Итак, защитное заземление — преднамеренное электрическое соединение с землей, или её эквивалентом, металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением [2].

6.1. Защитное заземление применяется в сетях напряжением до 1000 В переменного тока — трехфазные трехпроводные с глухозаземленной нейтралью; однофазные двухпроводные; изолированные от земли; двухпроводные сети постоянного тока с изолированной средней точкой обмотки источника тока; в сетях выше 1000 В переменного и постоянного тока с любым режимом нейтрали.

6.2. Заземление обязательно во всех электроустановках при напряжении 380 В и выше переменного тока, 440 В и выше постоянного тока, в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках при напряжении 42 В и выше переменного тока, 110 В и выше постоянного тока; при любых напряжениях во взрывоопасных помещениях.

6.3. В зависимости от места размещения заземлителей относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющего устройства — выносное и контурное. При выносном заземляющем устройстве заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование. При контурном заземляющем устройстве электроды заземлителя размещают по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, а также внутри этой площадки.

6.4. В открытых электроустановках корпуса присоединяют непосредственно к заземлителю проводами. В зданиях прокладывается магистраль заземления, к которой присоединяют заземляющие провода. Магистраль заземления соединяют с заземлителем не менее чем в двух местах.

6.5. В качестве заземлителей в первую очередь следует использовать естественные заземлители в виде проложенных под землей металлических коммуникаций (за исключением трубопроводов для горючих и взрывчатых веществ, труб теплотрасс), металлических конструкций зданий, соединенных с землей, свинцовых оболочек кабелей, обсадных труб артезианских колодцев, скважин, шурфов и т.д.

6.6. В качестве естественных заземлителей подстанций и распределительных устройств рекомендуется использовать заземлители опор отходящих воздушных линий электропередачи, соединенных с заземляющим устройством подстанций или распределительным устройством с помощью грозозащитных тросов линий.

6.7. Если сопротивление естественных заземлителей удовлетворяет требованиям норм, то устройство искусственных заземлителей не требуется. Но это можно только измерить. Определить расчетом сопротивление искусственных заземлителей нельзя.

6.8. Когда естественные заземлители отсутствуют или использование их не дает нужных результатов, применяют искусственные заземлители, обычно это стержни из угловой стали, стальные трубы или прутковая сталь.

6.9 Кроме того, здесь отметим, что в России сети 6-35 кВ работают либо с изолированной нейтралью, либо с компенсацией емкостного тока замыкания на землю. С последней редакцией ПУЭ предусмотрена и возможность работы сетей 6-35 кВ с нейтралью, заземленной через резистор.

7. Основные закономерности и методика расчета заземления трансформаторной подстанции

Электрические трансформаторные подстанции являются промежуточным звеном в системах передачи электроэнергии от электростанций к потребителям. Заземление - обязательная процедура при установке трансформаторной подстанции.

7.1. Искусственное заземление представляет собой организацию контура заземления, который состоит из вертикальных заземлителей, горизонтальных заземлителей и заземляющего проводника посредством которых выполняется подсоединение электроустановки в целом или отдельного оборудования. Горизонтальные заземлители соединяют между собой вертикальные заземлители. Заземляющий проводник соединяет контур заземления непосредственно с электроцитом оборудования. Размеры и количество этих заземлителей, расстояние между ними, удельное сопротивление грунта — все эти параметры напрямую влияют на сопротивление заземления.

7.2 Основным фактором, который определяет качество заземления трансформаторной подстанции является величина сопротивления растеканию тока. Чем ниже его значение, тем лучше. Снизить сопротивление растекания тока можно:

- наращивая площадь заземлителей, увеличивая их количество;
- уменьшая удельное электрическое сопротивление грунта, нагревая его или повышая концентрацию солей.

7.3 Согласно ПУЭ общее сопротивление заземляющего устройства, к которому подсоединяются нейтрали трансформатора должно быть не более 4 Ом при линейном напряжении 370 В или 220 В источников трехфазного и однофазного тока, соответственно. В этих требованиях удельное сопротивление грунта принимается менее 100 Ом * м. При более высоком значении удельного сопротивления грунта, допускается увеличение общего сопротивления заземляющего устройства, но не более, чем в 10 раз.

7.4 Как правило, замкнутый контур заземления, обустроенный для трансформаторной подстанции, представляет определенное количество вертикальных заземлителей (электродов), соединенных горизонтальным заземлителем между собой. В качестве горизонтального заземлителя, чаще всего, используют полосовую сталь. Обустроить наружный контур заземления следует на расстоянии как минимум 1 м от фундаментной плиты, на которой устанавливается трансформаторная подстанция, либо от стены сооружения, в которой находится электроустановка.

7.5 Защитное заземление служит для снижения напряжения прикосновения до безопасной величины. Благодаря заземлению опасный потенциал «уходит в землю» тем самым, защищая человека от поражения электрическим током.

7.6 Точность теоретических расчетов всегда невысока, т. к. зависит в существенной степени от удельного сопротивления грунта. В связи с этим расчет обычно проводится по принципу достижения значения сопротивления заземления «не более чем». Поэтому в качестве исходных данных используются либо наибольшие величины удельного сопротивления грунта, либо их усредненные значения. Такой подход гарантирует необходимый «запас прочности» и позволит на практике достичь заведомо более низких значений сопротивления заземления.

7.7 Исходные данные для расчета заземления выдаются преподавателем, каждому студенту индивидуально: вид заземления (в ряд или по контуру); вертикальный заземлитель(электрод — уголок: $A \cdot B \cdot S \cdot L$; или прут: $\Phi \cdot L$); расстояние(в метрах) между вертикальными заземлителями; горизонтальный заземлитель (его параметры); глубина залегания вертикального заземлителя; глубина залегания горизонтального заземлителя; грунт (его характеристика); климатическая зона и номинальное сопротивление заземляющего устройства.

8. Методика расчета заземлителя [1]

Расчет проводится каждым студентом по индивидуальным исходным данным в следующем порядке:

8.1 Расчётное удельное сопротивление грунта для стержневых заземлителей (вертикальных) $\rho_{\text{расч.в}} = k_c \rho$;

Расчётное удельное сопротивление грунта для протяжённого заземлителя(горизонтальных полос) $\rho_{\text{расч.г}} = k_c' \rho$;

где k_c и k_c' – коэффициенты сезонности, зависимые от климатических зон и вида заземления;

Удельное сопротивление грунта (ρ) определяют из таблицы 1.

Таблица 1 – Значения удельных сопротивлений грунтов

№ п/п	Наименование грунта	Уд. сопротивление Ом*м
1.	Песок	700
2.	Супесь	300
3.	Суглинок	100
4.	Глина	40
5.	Садовая земля	40
6.	Глина (слой 7-10 м) или гравий	70
7.	Мергель, известняк, крупный песок с валунами	1000-2000

8.	Скала, валуны	2000-4000
9.	Чернозем	20
10.	Торф	20
11.	Речная вода (на равнинах)	10-100
12.	Морская вода	0,2-1

8.2 Определяют сопротивление (Ом) растеканию одного вертикального заземлителя (R_B) стержневого кругового сечения (трубчатый или угловой) в землю по рис.6

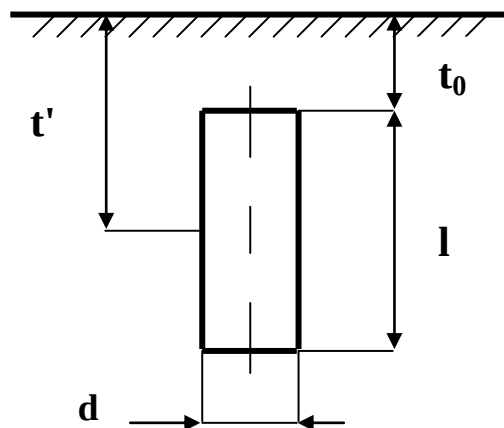


Рис.6 Вертикальный заземлитель. Параметры его установки.

$$R_B = \frac{0,366 \cdot \rho_{расч.в}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t' + l}{4t' - l} \right),$$

при этом $l \gg d$, $t_0 > 0,5m$;

Для уголка с шириной полки (b) получают $d = 0,95b$;

Все размеры даны в (м);

Удельное сопротивление грунта в (Ом*м);

Сопротивление растеканию (Ом) вертикального заземлителя определяют и по упрощённой формуле:

для уголка 50*50*5мм – $R_B = 0,348 \rho_{расч.в} \cdot k_c$

60*60*6мм – $R_B = 0,298 \rho_{расч.в} \cdot k_c$

75*75*8мм – $R_B = 0,292 \rho_{расч.в} \cdot k_c$

для трубы $d = 60mm$ – $l = 2-2,5m$; $R_B = 0,302 \rho_{расч.в} \cdot k_c$

8.3 Установив характер расположения заземлителей (в ряд или контуром), определяют число вертикальных заземлителей

$$n_B = R_B / (\eta_B \cdot R_H),$$

где η_B – коэффициент использования вертикальных заземлителей (зависит от их числа и расстояния между ними), он показывает, как влияют друг на друга токи растекания с одиночных заземлителей при различном расположении последних;

η_B – определяют по таблицам 2, 3 и 4, количество вертикальных заземлителей.

Для определения η_B принимают R_B / R_H , в зависимости от характера расположения заземлителей, по таблице 2 или таблице 3.

Коэффициент использования η_B вертикальных электродов из труб, уголков, стержней, размещенных в ряд без учёта влияния полосы связи, по таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициента использования в ряд

Отношение расстояния м/у электродами к их длине a/l	Число электродов $n_B \rightarrow R_B / R_H$	коэффициент использования η_B
1	2	0,84-0,87
	3	0,76-0,8
	5	0,67-0,72
	10	0,56-0,62
	15	0,51-0,56
	20	0,47-0,5
2	2	0,9-0,92
	3	0,85-0,88
	5	0,79-0,83
	10	0,72-0,77
	15	0,66-0,73
	20	0,65-0,70
3	2	0,93-0,95
	3	0,9-0,92
	5	0,85-0,88
	10	0,79-0,83
	15	0,76-0,80
	20	0,74-0,79

Коэффициент использования η_B вертикальных электродов из труб, уголков, стержней, размещенных по контуру без учёта влияния полосы связи по таблице 3

Таблица 3 – Значения коэффициентов использования по контуру

Отношение расстояния м/у электродами к их длине a/l	Число электродов $n_B \rightarrow R_B / R_H$	коэффициент использования η_B
1	4	0,66-0,72
	6	0,58-0,65
	10	0,52-0,58
	20	0,44-0,50
	40	0,38-0,44
	60	0,36-0,42
	100	0,33-0,39
2	4	0,76-0,80
	6	0,71-0,75
	10	0,66-0,71
	20	0,61-0,66
	40	0,55-0,61
	60	0,52-0,58
	100	0,49-0,55
3	4	0,84-0,86
	6	0,78-0,82
	10	0,74-0,78
	20	0,68-0,73
	40	0,64-0,69
	60	0,62-0,67
	100	0,59-0,65

Признаки климатических зон и значения коэффициентов сезонности k_c и k_c' по таблице 4

Таблица 4 – Значения коэффициентов сезонности

Данные характеризующие климатические зоны и тип заземляющих электродов	Климатические зоны			
	I	II	III	VI
<i>Климатические признаки зон:</i>				
Средняя многолетняя низшая t^0 С (январь)	(-20) – (-15)	(-14) – (-10)	(-10) – (0)	(0) – (5)
Средняя многолетняя высшая t^0 С (июль)	16 – 18	18 – 22	22 – 24	24 – 26
Среднегодовое количество осадков (мм)	400	500	500	300 – 500
Продолжительность замерзания вод (в днях)	190 – 170	150	100	0

Значение k_c для стержневых электродов длиной 2-3м и глубине заложен. их вершины 0,5-0,8м.	1,8 – 2,0	1,5 – 1,8	1,4 – 1,6	1,2 – 1,4
Значение k_c' для протяженных электродов(горизонтальных полос) и глубине заложен. их вершины 0,8м.	4,5 – 7,0	3,5 – 4,5	2,0 – 2,5	1,5 – 2,0
Значение k_c при длине стержней 5м и глубине заложен. их вершины 0,7-0,8м.	1,35	1,25	1,15	1,10

Примерное расположение климатических зон.

I зона: Карелия севернее Петрозаводска, Коми, Архангельская и Кировская области, Заволжье - восточнее Казани и Самары, Урал, Северные области Казахстана, Омская, Новосибирская, Иркутская и Читинские области, южные районы Тюменской области, Хабаровского и Краснодарского краёв, Приморская и Сахалинская области.

II зона: Ленинградская область, Волгоградская область, центральные районы России до Волгоградской области на юге, центральные области Казахстана (у Арала и озера Балхаш).

III зона: Латвия, Литва, Эстония, Белоруссия, Украина (кроме юга), Псковская, Новгородская, Смоленская, Брянская, Курская, Ростовская области, Южный Казахстан.

IV зона: Молдавия, Одесса, Херсон, Крым, Краснодарский и Ставропольский край, Астраханская область, Азербайджан, Грузия, Армения, Узбекистан, Таджикистан, Киргизия, Туркмения (кроме горных районов).

8.4 При устройстве простых заземлителей в виде короткого ряда вертикальных стержней расчёт на этом можно закончить и не определять проводимость соединяющей полосы, т.к. длина её не велика (в этом случае фактическое сопротивление ЗУ будет несколько завышено).

При устройстве заземлителей по контуру из ряда вертикальных заземлителей целесообразно рассчитать сопротивление растеканию полос (горизонтальный заземлитель). Для этого на площади установки заземлителя намечают, как будут размещены вертикальные заземлители n_b и определяют длину в (м) соединительной полосы $l_r = 1,05 * n_b * a$, где a – расстояние между вертикальными заземлителями (обычно отношение

расстояния между заземлителями к их длине принимают: $a/l = 1, 2, 3$).
 Параметры горизонтальных заземлителей и глубина залегания этих заземлителей показаны на рисунке 2.

8.5 Определяют сопротивление (Ом) растеканию горизонтального заземлителя для стержневого круглого сечения

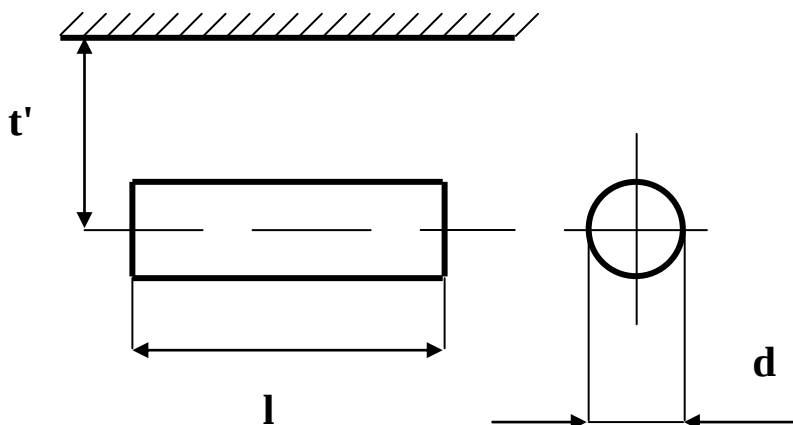


Рис.7 Горизонтальный заземлитель. Параметры и глубина залегания

$$R_g = \frac{0,36 \rho \left(\frac{l}{d} \right)}{l}$$

здесь $l > d, l \gg 4t'$

для полосы шириной b получают $d = 0,5 b$;

Действительное сопротивление (Ом) растеканию горизонтального заземлителя с учётом коэффициента использования:

$$R_g' = R_g / \eta_g,$$

где η_g – коэффициент использования горизонтальных заземлителей, который определяют по таблицам 5 и 6.

η_g – при размещении вертикальных электродов в ряд.

Таблица 5 – Значения коэффициента использования в ряд

Отношение расстояния м/у электродами к длине a/l	η_g при числе электродов в ряд							
	4	5	8	10	20	30	50	60
1	0,77	0,74	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21	0,20
2	0,89	0,86	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36	0,34
3	0,92	0,90	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49	0,47

η_r при размещении вертикальных электродов по контуру.

Таблица 6 – Значения коэффициента использования по контуру

Отношение расстояния между электродами к длине a/l	η_r при числе электродов по контуру							
	4	5	8	10	20	30	50	70
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26
3	0,65	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37	0,35

8.6 Уточняется сопротивление (Ом) расстоянию заземлителей с учётом сопротивления горизонтального заземлителя:

$$R_B' = R_r' \cdot R_H / (R_r' - R_H).$$

8.7 Определяют уточненное количество вертикальных заземлителей, здесь n_B' округляется всегда в сторону увеличения ($n_B = R_B / \eta_B \cdot R_B'$).

9. Пример расчета заземления

Определить необходимое число уголков размером 50*50*5мм длиной $l = 3м$ для устройства заземления трансформаторной подстанции. Заземлитель горизонтальный – стальная полоса 40*4мм. Расстояние м/у уголками $a = 4,5м$. Уголки забиты по контуру подстанции. Глубина заложения горизонтального заземлителя $t_0' = 0,7м$. Грунт – песок с удельным сопротивлением $\rho_{гр} = 300 Ом \cdot м$. Кинематическая зона II. Нормируемое сопротивление заземляющего устройства $R_{зн} = 4 Ом$.

Решение

1. Согласно ПУЭ допустимое сопротивление ЗУ с учётом удельного сопротивления грунта ($\rho_{гр}$):

$$R_3 = (\rho_{гр} / 100) \cdot R_{зн} = (300/100) \cdot 4 = 12 Ом.$$

2. Сопротивление растеканию вертикального заземлителя:

$$R = \frac{\rho_{гр}}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,95 - 0,05} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right)$$

$$= \frac{0,366 \cdot 510}{3} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,95 - 0,05} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 139,6 Ом$$

Здесь:

$d = 0,95b$, b – ширина полки уголка;

$t' = t_0 + 0,5 l = 0,7 + 0,5 \cdot 3 = 2,2 \text{ м}$;

$\rho_{\text{расч.в}} = \rho_{\text{гр}} \cdot k_c = 300 \cdot 1,7 = 510$ (k_c по Табл.4 климатических зон – II зона).

3. Количество вертикальных заземлителей:

$$n_v = R_v / (\eta_v \cdot R_3) = (139,6/0,6) \cdot 12 = 19,38 ,$$

где η_v – коэффициент использования вертикальных заземлителей с учётом интерполяции по Табл.2-3 равен 0,6 . Считают, что число электродов при этом: $n_v = R_v / R_n$, $139,6/12 = 12$, к установке принимают округлённо $n_v = 20$ уголков.

4. Длина горизонтального заземлителя:

$$l_r = 1,05 \cdot n_v \cdot a = 1,05 \cdot 20 \cdot 4,5 = 94,5 \text{ м}.$$

5. Сопротивление растеканию горизонтального заземлителя:

$$R_r = \frac{\rho_{\text{расч.г}}}{l_r} \left(1 + \frac{l_r}{2a} \right) \quad \text{Ом},$$

Здесь:

$d = 0,5b$, b – ширина полки уголка;

$t_0' = 0,7 \text{ м}$;

$\rho_{\text{расч..г.}} = \rho_{\text{гр}} \cdot k_c' = 300 \cdot 4 = 1200$ (k_c по Табл.4 климатических зон – II зона).

6. Действительное сопротивление растеканию горизонтального заземлителя с учётом коэффициента использования:

4.

$$R_r' = R_r / \eta_r = 26,98/0,295 = 91,5 \text{ Ом} \quad (\eta_r \text{ находим по таблице – } 0,295).$$

7. Сопротивление растеканию заземлителей с учётом сопротивления горизонтального заземлителя:

$$R_v' = R_r' \cdot R_3 / (R_r' - R_3) = (91,5 \cdot 12) / (91,5 - 12) = 13,8 \text{ Ом}.$$

8. Уточнённое количество вертикальных заземлителей:

$$n_B = R_B / \eta_B \cdot R_B' = 139,6 / (0,6 \cdot 13,8) = 16,8 ,$$

к установке применяется 17 вертикальных заземлителей (уголков).

10. Пояснения и рекомендации

Заземление учитывает свойства Земли проводить электричество. Сталь со временем подвергается коррозии (ржавеет) и разрушается, как следствие — происходит нарушение заземления. Процесс этот необратим, но можно использовать стальные стержни - заземлители, покрытые цинком. Цинк тоже металл, но он мало подвержен коррозии. Покрывать стержни смолой или другими изоляционными материалами нельзя, т. к. не будет электрического контакта с Землей.

Чем длиннее стержни — заземлители, тем меньше их потребуется для заземления, но тем труднее их забить в почву. Поэтому выкапывают траншею глубиной до 1 метра, затем забивают в траншею специальные стержни (иногда — куски арматуры определенной длины и сечения), предварительно заточенные. Забивают на глубину так, чтобы оставался торчать конец стержня, высотой до 0,2 метра., расстояние между стержнями не менее 2...3 метров (в соответствии с расчетом). Следом на дно траншеи кладут полосу стали (или арматуру) определенной длины и сечения и приваривают её ко всем забитым стержням. Место сварки обмазывают битумом, для влагоизоляции, т. к. место сварки ответственный участок заземления, по величине площади совсем небольшой по сравнению с площадью стержня. Далее делают проверку качества заземления (экспериментально), с помощью приборов. Затем от заземляющего устройства выводят кусок стальной полосы, закрепляют его на здании (или другом сооружении) для подключения к нему заземляющего контура или конкретного оборудования. После этого траншею закапывают. Заземление считается выполненным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию. Практическое пособие. - М.: 7-е изд., Высшая школа, 1991- 160с.
2. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. - М.: «Знак», 2000. – 440 с.
3. Беляков Г.И. Безопасность жизнедеятельности на производстве (охрана труда): Учебник для вузов. -СПб.: Лань, 2006. – 512 с.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е издание. -М.: Изд. «НЦ ЭНАС», 2002. – 80 с.
5. РД 153-34.0-03.150-00. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок: ПОТ РМ 016, 2001. – 130 с.
6. Сайт проекта «Заземление и защита». Режим доступа: <http://www.zandz.ru/>.

Учебное издание

Составители:
Бартенев Олег Архипович
Жуков Владимир Константинович
Зиновьев Виталий Валерьевич

Контрольные и практические работы
по теме «Электробезопасность. Расчет защитного заземления
трансформаторной подстанции»

Методические указания

Авторская редакция

Подписано в печать 00.00.00. Формат 60х84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. 0,00. Уч.-изд. л. 0,00.

Тираж 00 экз. Заказ № 0000.

Издательство «Удмуртский университет»
426034, Ижевск, Университетская, д. 1, корп. 4, каб. 207
Тел./факс: + 7 (3412) 500-295 E-mail: editorial@udsu.ru