

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

Общие требования к защитным мерам электробезопасности

4.1. Условия применения защитных мер

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции должна применяться, по крайней мере, одна из следующих защитных мер: заземление, зануление, защитное отключение, использование разделяющих трансформаторов, изолирующих площадок, малого напряжения, двойной изоляции, а также выравнивание потенциалов (табл. 4.1).

Таблица 4.1. Защитные меры электробезопасности

Защитные меры	Общие требования к защитным мерам	Условия применения
Заземление	<p>1. Для заземления электроустановок, в первую очередь должны быть использованы естественные заземлители. Если при этом сопротивление заземляющих устройств или напряжение прикосновения имеет допустимые значения, а также обеспечиваются нормированные значения напряжения на заземляющем устройстве, то искусственные заземлители должны применяться лишь при необходимости снижения плотности токов, протекающих по естественным заземлителям или стекающих с них</p> <p>2. Для заземления электроустановок различных назначений и различных напряжений, герриториально приближенных одна у другой, рекомендуется применять одно общее заземляющее устройство.</p> <p>Для объединения заземляющих устройств различных электроустановок в одно общее заземляющее устройство следует использовать все имеющиеся в наличии естественные, в том числе протяженные, заземляющие проводники</p>	<p>1. Нормируемые значения сопротивления заземляющих устройств и напряжения прикосновения должны быть обеспечены при наиболее неблагоприятных условиях.</p> <p>Удельное сопротивление земли следует определять, принимая в качестве расчетного значение, соответствующее тому сезону года, когда сопротивление заземляющего устройства или напряжение прикосновения принимает наибольшие значения</p> <p>2. В электроустановках выше 1 кВ с изолированной нейтралью должно быть выполнено заземление.</p> <p>В таких электроустановках должна быть предусмотрена возможность быстрого отыскания замыканий на землю. Защита от замыканий на землю должна устанавливаться с действующим на отключение (по всей электрически связанной сети) в тех случаях, в которых это необходимо по условиям безопасности (для линий, питающих передвижные подстанции и механизмы, торфяных разработок и т. п.)</p>

Продолжение табл. 4.1

Защитные меры	Общие требования к защитным мерам	Условия применения
	<p>3. Заземляющее устройство, используемое для заземления электроустановок одного или различных назначений и напряжений, должно удовлетворять всем требованиям, предъявляемым к заземлению этих электроустановок: защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции, режима работы сетей, защиты электрооборудования от перенапряжения и т. д.</p>	<p>3. Электроустановки до 1 кВ переменного тока с изолированной нейтралью или изолированным выводом источника однофазного тока, а также электроустановки постоянного тока с изолированной средней точкой следует применять при повышенных требованиях безопасности (для передвижных установок, торфяных разработок, шахт). Для таких электроустановок должно быть выполнено заземление в сочетании с контролем изоляции сети или защитное отключение.</p> <p>4. Трехфазная сеть до 1 кВ с изолированной нейтралью или однофазная сеть до 1 кВ с изолированным выводом, связанная через трансформатор с сетью выше 1 кВ, должна быть защищена пробивным предохранителем от опасности, возникающей при повреждении изоляции между обмотками высшего и низшего напряжений трансформатора, при этом должен быть предусмотрен контроль за целостностью пробивного предохранителя</p>
Зануление	<p>В электроустановках напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью или заземленным выводом источника однофазного тока, а также с заземленной средней точкой в трехпроводных сетях постоянного тока должно быть выполнено зануление. Применение в таких электроустановках зануления корпусов электроприемников без их заземления не допускается</p>	<p>Электроустановки до 1 кВ переменного тока могут быть с заземленной или с изолированной нейтралью, электроустановки постоянного тока — с заземленной или с изолированной средней точкой, а электроустановки с однофазными источниками тока — с одним заземленным или с обоими изолированными выводами.</p> <p>В четырехпроводных сетях трехфазного тока заземление нейтрали или средней точки источника тока является обязательным</p>
Защитное отключение	<p>Защитное отключение рекомендуется применять в качестве основной или дополнительной меры защиты, если безопасность не может быть обеспечена путем устройства заземления или зануления либо если устройство заземления или зануления вызывает трудности по условиям</p>	<p>Рекомендуется выполнять защитное отключение для переносного ручного электроинструмента, некоторых жилых и общественных помещений, насыщенных металлическими конструкциями, имеющими связь с землей</p>

Продолжение табл. 4.1

Защитные меры	Общие требования к защитным мерам	Условия применения
	выполнения или по экономическим соображениям. Защитное отключение должно осуществляться устройствами (аппаратами), удовлетворяющими по надежности действия специальным техническим условиям	
Разделяющий трансформатор	<p>В электроустановках до 1 кВ в местах, где в качестве защитной меры применяются разделяющий или понижающие трансформаторы, вторичное напряжение трансформаторов должно быть для разделяющего трансформатора не более 380 В, для понижающих трансформаторов не более 42 В.</p> <p>При применении этих трансформаторов необходимо руководствоваться следующим:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) разделяющие трансформаторы должны удовлетворять специальным техническим условиям в отношении повышенной надежности конструкции и повышенных испытательных напряжений; 2) от разделяющего трансформатора разрешается питание только одного электроприемника с номинальным током плавкой вставки или расцепителя автоматического выключателя на первичной стороне не более 15 А; 3) заземление вторичной обмотки разделяющего трансформатора не допускается; 4) понижающие трансформаторы со вторичным напряжением 42 В и ниже могут быть использованы в качестве разделяющих, если они удовлетворяют требованиям, приведенным в пп. 1 и 2 	<p>Корпус трансформатора в зависимости от режима нейтрали сети, питающей первичную обмотку, должен быть заземлен или занулен. Заземление корпуса электроприемника, подсоединенного к такому трансформатору, не требуется.</p> <p>Если понижающие трансформаторы не являются разделяющими, то в зависимости от режима нейтрали сети, питающей обмотку, следует заземлять или занулять корпус трансформатора, а также один из выводов (одну из фаз) или нейтраль (среднюю точку) вторичной обмотки</p>
Изолирующие площадки	При невозможности выполнения заземления, зануления и защитного отключения, удовлетворяющих сформулированным требованиям, или если это представляет значительные трудности по техническим причинам, допускается обслуживание электрооборудования с изолирующих площадок.	

Продолжение табл. 4.1

Защитные меры	Общие требования к защитным мерам	Условия применения
	Изолирующие площадки должны быть выполнены так, чтобы прикосновение к представляющим опасность незаземленным (незануленным) частям могло быть только с площадок, при этом должна быть исключена возможность одновременного прикосновения к электрооборудованию и частям здания	
Малое напряжение	<p>Электроустановки, в которых в качестве меры защиты используется малое напряжение, должны удовлетворять следующим требованиям:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) в качестве источника малого напряжения может применяться источник, конструкция которого исключает возникновение на выходных зажимах напряжения, превышающего малое, либо который имеет аппарат защиты от такого режима; 2) корпуса электроприемников, питающихся от источника малого напряжения, не заземляются и не зануляются 	Допускается не проверять значения напряжения прикосновения и, как правило, не применять защитных мер в электроустановках малого напряжения
Двойная изоляция	Защита от электропоражений с помощью двойной изоляции может быть обеспечена путем применения электрооборудования, имеющего двойную или усиленную изоляцию (электрооборудование класса защиты II по ГОСТ 12.2.007.0—75*), или комплектных устройств заводского изготовления, имеющих общую изолирующую оболочку со степенью защиты не менее IP2X (по ГОСТ 14254—80)	Двойная изоляция применяется в любой электроустановке до 1 кВ, как правило, для отдельных электроприемников или частей электроустановки
Выравнивание потенциалов	Выравнивание потенциалов должно выполняться во всех случаях в электроустановках, в которых применяется заземление или зануление, но не обеспечиваются допустимые значения напряжения прикосновения в сочетании с допустимым временем его воздействия	Для устройств выравнивания потенциалов следует применять, как правило, сталь

Наружные электроустановки, а также электроустановки в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью подлежат заземлению или занулению при номинальном напряжении выше 42 В переменного тока и выше 110 В постоянного тока (табл. 4.2).

Таблица 4.2. Электроустановки, подлежащие заземлению или занулению

Электроустановка	Номинальное напряжение, В	
	Переменный ток	Постоянный ток
Наружные электроустановки	Выше 42	Выше 110
Электроустановки в помещениях особо опасных и с повышенной опасностью	То же	То же
Все прочие электроустановки	380 и выше	440 и выше

Требования к заземлению и занулению строительных и производственных конструкций, электрооборудования, металлических частей электроустановок и технологических агрегатов приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3. Части, подлежащие занулению или заземлению

Части, подлежащие занулению или заземлению	Требования к заземлению и занулению
1. Строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования, подкрановые рельсовые пути и т. п.	В целях уравнивания потенциалов в тех помещениях и наружных установках, в которых применяется заземление или зануление, выполняется присоединение к сети заземления или зануления, при этом естественные контакты в сочленениях являются достаточными
2. а) Корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т. п. б) Приводы электрических аппаратов в) Вторичные обмотки измерительных трансформаторов	—
3. Каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов	Съемные или открывающиеся части, если на них установлено электрооборудование напряжением выше 42 В переменного тока или выше 110 В постоянного тока
4. Металлические конструкции распределительных устройств, металлические кабельные конструкции, металлические кабельные соединительные муфты, металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, металлические оболочки проводов, металлические рукава и трубы электропроводки, кожухи	Кроме струн, тросов и полос, по которым проложены кабели с заземленной или зануленной металлической оболочкой или броней

Продолжение табл. 4.3

Части, подлежащие занулению или заземлению	Требования к заземлению и занулению
и опорные конструкции шинопроводов, лотки, короба, струны, тросы и стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода	—
5. Другие металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование	—
6. Металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей и проводов напряжением до 42 В переменного тока, проложенных в общих металлических конструкциях, в том числе в общих трубах, коробах, лотках, вместе с кабелями и проводами, металлические оболочки и броня которых подлежат заземлению или занулению	—
7. Металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников	—
8. Электрооборудование, размещенное на движущихся частях станков, машин и механизмов	—

Условия отказа от преднамеренного заземления или зануления частей электроустановок, технологических агрегатов и конструкций строительного и производственного назначения даны в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Части, не требующие преднамеренного заземления или зануления

Части, не требующие преднамеренного заземления или зануления	Условия отказа от преднамеренного заземления или зануления
1. Корпуса электрооборудования, аппаратов и электромонтажных конструкций, установленных на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, РУ, на щитах, шкафах, щитках, станинах станков, машин и механизмов	При условии обеспечения надежного электрического контакта с заземленными или зануленными основаниями (исключение п. 7.3.134 ПУЭ)
2. Конструкции, перечисленные в п. 4 табл. 4.3, при условии надежного электрического контакта между этими конструкциями и установленным на них заземленным или зануленным электрооборудованием	Указанные конструкции не могут быть использованы для заземления или зануления установленного на них другого электрооборудования
3. Арматура изоляторов всех типов, оттяжек, кронштейнов и осветительной арматуры при установке их на деревянных опорах ВЛ или на деревянных конструкциях подстанций	Если заземление не требуется по условиям защиты от атмосферных перенапряжений. При прокладке кабеля с металлической заземленной оболочкой или неизолирован-

Продолжение табл. 4.4

Части, не требующие преднамеренного заземления или зануления	Условия отказа от преднамеренного заземления или зануления
4. Съемные или открывающиеся части металлических каркасов камер распределительных устройств, шкафов, ограждений и т. п.	<p>ного заземляющего проводника на деревянной опоре перечисленные части, расположенные на этой опоре, должны быть заземлены или занулены</p> <p>Если на съемных (открывающихся) частях не установлено электрооборудование или если напряжение установленного оборудования не превышает 42 В переменного тока или 110 В постоянного тока (исключение п. 7.3.134 ПУЭ)</p>
5. Корпуса электроприемников с двойной изоляцией	—
6. Металлические скобы, закрепы, отрезки труб механической защиты кабелей в местах их прохода через стены и перекрытия и другие подобные детали (в том числе протяжные и ответвительные коробки размером до 100 см ²) электропроводок, выполненных кабелями или изолированными проводами, прокладываемыми по стенам, перекрытиям и другим элементам строений	—

4.2. Виды защит от поражения электрическим током

Каждая система защиты от поражения электрическим током должна иметь исходные данные, которые включают три основных источника информации:

знания о физиологическом воздействии электрического тока, проходящего через тело человека и домашнего животного;

накопленный опыт на основе отчетов о смертельных поражениях;

детальные технические знания об устройствах, которые могут быть использованы для защиты от поражения электрическим током, включая рассмотрение надежности, легкости выполнения, экономичности и соответствия действующим Правилам и Нормам.

Решение о том, что должно быть защищено, где защита необходима, как защита должна быть выполнена, в большой степени зависит от характеристик окружающей среды. Комнаты внутри здания являются нормальной средой обитания, свободной от особой опасности.

Тесные проводящие помещения, такие как подземные туннели, резервуары, требуют специального рассмотрения. При этом должны быть приняты во внимание уровень напряжения, в частности напряжение по отношению

к земле, тип системы распределительной сети, требование к непрерывности и бесперебойности электроснабжения.

Известно, что некоторые промышленные потребители не допускают перерывов электроснабжения по условиям безопасности.

Для распределительных систем с напряжением по отношению к земле, не превышающим 120 В, необходимость защитных мер менее критична, чем для систем с напряжением по отношению к земле до 240 В. При напряжении, не превышающем 120 В по отношению к земле (эти напряжения до сих пор используются в США и Японии), широко применяются переносные приборы класса О (приборы имеют только основную изоляцию и не имеют клемм для подключения заземляющего проводника). В таких сетях могут быть использованы штепсельные розетки без заземляющих контактов тех же типов, какие устанавливались в США до 1962 г. и каких еще много в жилых домах США, Японии и России.

Следующая философия защиты была разработана для трехфазных сетей напряжением 230/400 В, обычно используемых в Европе и России в настоящее время. Эта философия предусматривает три уровня защиты: (1) основная защита, (2) защита при повреждении (изоляции), и (3) дополнительная защита.

4.2.1. Основная защита

Основная защита определяется как применение мер против *прямого контакта*. Основная защита обеспечивает это посредством исключения контакта между человеком и опасными токоведущими частями. Некоторые токоведущие части полностью покрыты изоляцией, которая может быть удалена только в результате ее разрушения или разрушения самого защищаемого изделия. В других случаях основная изоляция может быть удалена только с использованием специальных инструментов. Кроме того, от прямого контакта защищают оболочки.

Барьеры и физическое отделение (размещение токоведущих частей за пределами досягаемости) позволяют обеспечить защиту только от преднамеренных контактов. Они не исключают возможности преднамеренного достижения за пределами барьера или преодоления расстояния, предусмотренного пределами досягаемости.

Повреждение основной защиты происходит двумя путями:

(1) В результате повреждения оболочки или ее части становятся доступными для прямого прикосновения опасные токоведущие части. Защита от таких видимых повреждений обеспечивается немедленным ремонтом поврежденного оборудования.

(2) Повреждение изоляции между опасными токоведущими частями и открытыми проводящими частями (ОПЧ). При повреждении основной изоляции доступные прикосновению ОПЧ приобретают опасный потенциал, что может не сопровождаться появлением каких бы то ни было видимых для по-

требителя признаков. Защита при повреждении изоляции должна обеспечивать защиту от поражения электрическим током при косвенном прикосновении в результате такого повреждения.

4.2.2. Защита при повреждении

В случае повреждения изоляции между опасными токоведущими частями и доступными прикосновению открытыми проводящими частями электрооборудования, защита должна быть обеспечена посредством устройства (с надлежащей изоляцией) автоматического отключения или с помощью других мер защиты при повреждении изоляции.

Защита при повреждении может включать одно или более классических защитных мероприятий:

- автоматическое отключение, в том числе, с использованием устройств защиты от сверхтоков и устройств защиты, реагирующих на дифференциальный ток (УЗО-Д);
- зануление (система TN);
- использование PEN-проводника;
- уравнивание потенциалов, в том числе местное;
- защитное заземление с использованием защитных устройств для отключения сверхтоков (системы TT или IT);
- выравнивание потенциала;
- защитный мониторинг изоляции;
- двойная изоляция;
- защитное электрическое разделение (разделяющий трансформатор);
- безопасное сверхнизкое напряжение (БСНН);
- функциональное сверхнизкое напряжение (ФСНН).

4.2.3. Дополнительная защита

Дополнительная защита посредством использования УЗО-Д применяется в качестве третьей и последней защитной меры для распределительных сетей. УЗО-Д с током уставки не более 30 мА будет предотвращать возникновение вентрикулярной фибрилляции в результате протекания тока повреждения через тело человека.

Дополнительная защита должна применяться для переносных приборов, т. е. для цепей, питающихся от штепсельных розеток, или для цепей, проложенных в помещениях с повышенной опасностью. Согласно современной философии электробезопасности полная система защиты должна быть представлена в виде трехступенчатой системы мер, каждая из которых готова действовать для защиты потребителя электроустановки (рис. 4.1).

Главная задача дополнительной защиты состоит в обеспечении защиты при случайном непреднамеренном прямом прикосновении к токоведущим частям (рис. 4.2).

Более того, дополнительная защита будет предотвращать смертельные поражения электрическим током и в том случае, когда защитный проводник оборван или неправильно присоединен, а также — при повреждении двойной изоляции. Защитное действие дополнительной защиты иллюстрируется рис. 4.2—4.5.

4.2.4. Оптимизация защиты в распределительных сетях

Последующее рассмотрение предполагает нормальные условия окружающей среды применительно к жилым, общественным и производственным зданиям. Оптимальная защита достигается применением необходимых и достаточных мер защиты с учетом особенностей электроустановки.

1. Система распределения энергии

Оптимальная система защиты достигается для сетей с номинальным напряжением 230/440 В при использовании зануления (система TN). Это объясняется следующими обстоятельствами.



Рис. 4.1. Меры защиты от поражения электрическим током

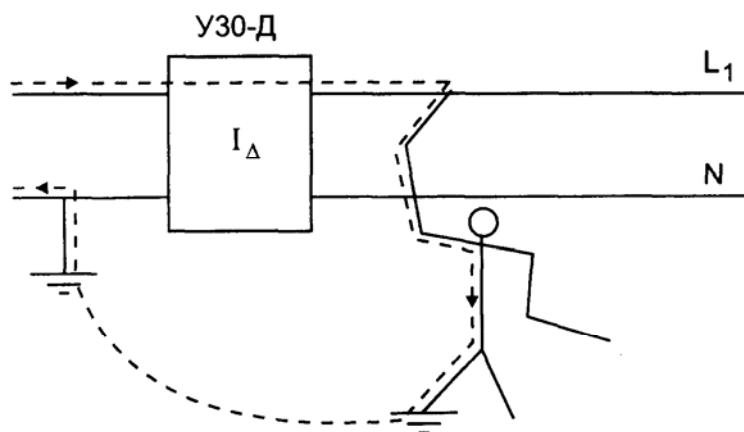


Рис. 4.2. Защита при прямом прикосновении к токоведущим частям и земле

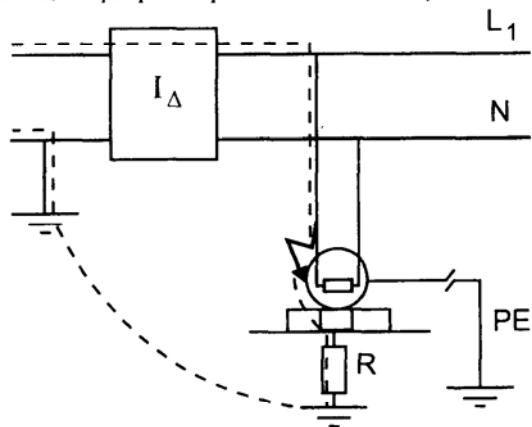


Рис. 4.3. Защита при обрыве защитного проводника

1. Потенциал доступных прикосновению проводящих частей (ОПЧ и СПЧ) при повреждении изоляции значительно ниже напряжения сети по отношению к земле вследствие относительно низкого сопротивления цепи обратного тока, роль которой выполняет PE- или PEN-проводник, в качестве которого используются жилы и металлические оболочки кабелей, а также СПЧ.

2. Вероятность отключения при повреждении изоляции устройствами защиты от сверхтока достаточно высока.

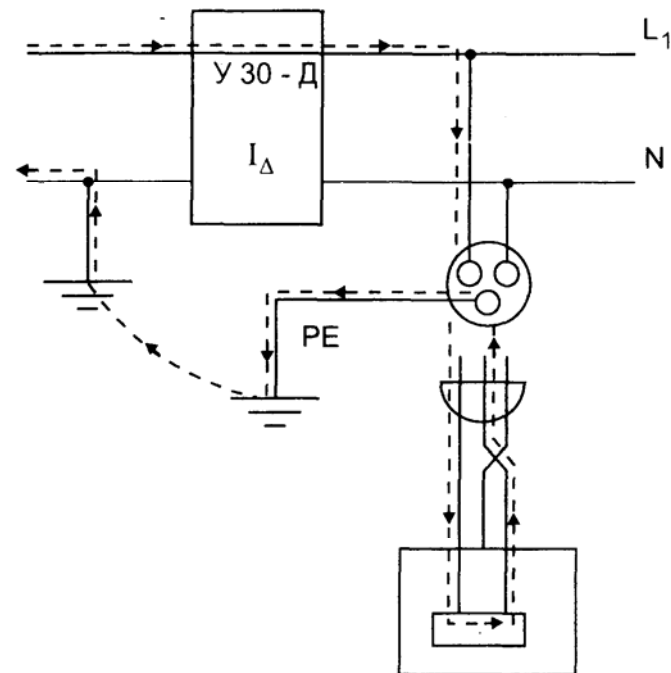


Рис. 4.4. Защита при ошибочном присоединении N- и PE-проводников

3. Система применима к сетям с высокими номинальными токами.
4. Система TN обеспечивает удобство питания электроустановок при одновременном обеспечении экономичности.

5. Система TN снижает воздействие перенапряжений, вызываемых переходом напряжения с высокой стороны на низкую, а также снижает до минимума последствия коммутационных и атмосферных перенапряжений.

Если эта система защиты укомплектовывается дополнительной защитой в виде УЗО-Д, оптимальный уровень безопасности обеспечивается.

Такая система обеспечивает защиту от поражения электрическим током, перенапряжений и возгораний, вызываемых повреждением изоляции, при минимальной вероятности нежелательных отключений.

Уставки УЗО-Д по дифференциальному (разностному) току выбираются на основе предельно допустимых физиологических воздействий и с учетом ожидаемых в защищаемой цепи токов утечки в нормальных режимах.

Устройства с более высоким значением тока уставки могут быть использованы там, где фазное напряжение выше, и где влияние дополнительных сопротивлений, включенных в цепь последовательно с сопротивлением тела

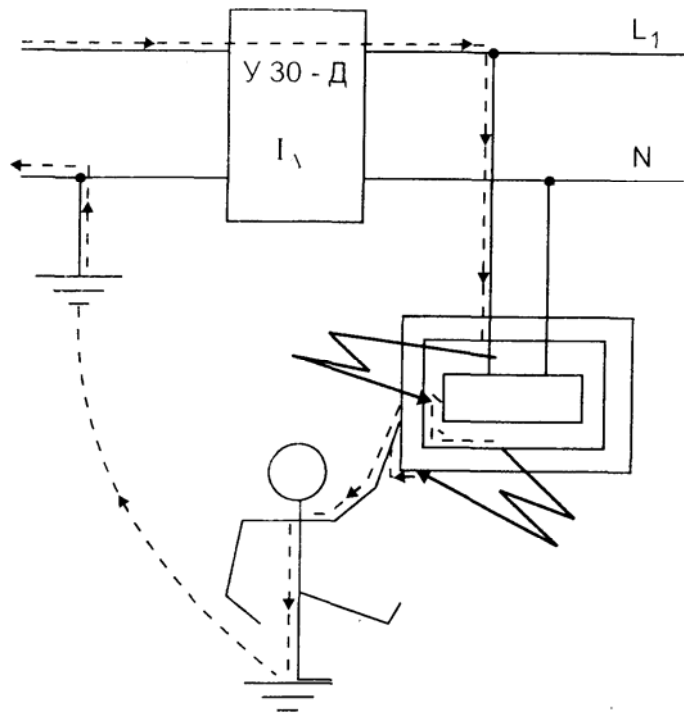


Рис. 4.5. Защита при повреждении изоляции в оборудовании класса II

человека, как правило невелико. В большинстве случаев повреждения изоляции дифференциальный ток обеспечивает срабатывание устройств защитного отключения с током уставки не более 30 мА.

Анализ зарегистрированных случаев серьезного поражения электрическим током в сетях с фазным напряжением 220 В показал, что ток через тело человека был порядка 100 мА и более.

Необходимо учитывать, что УЗО-Д независимо от величины уставки не ограничивают значение дифференциального тока, пока их контакты замкнуты. Значение дифференциального тока ограничивается только сопротивлением петли замыкания, основную часть которого составляет сопротивление тела человека.

Рис. 4.6 иллюстрирует пример использования основной защиты, защиты при повреждении и дополнительной защиты.

Основная защита выполнена в форме изоляции подсоединенного электрооборудования. Изоляция предотвращает прямое прикосновение (прямой контакт) к опасным токоведущим частям.

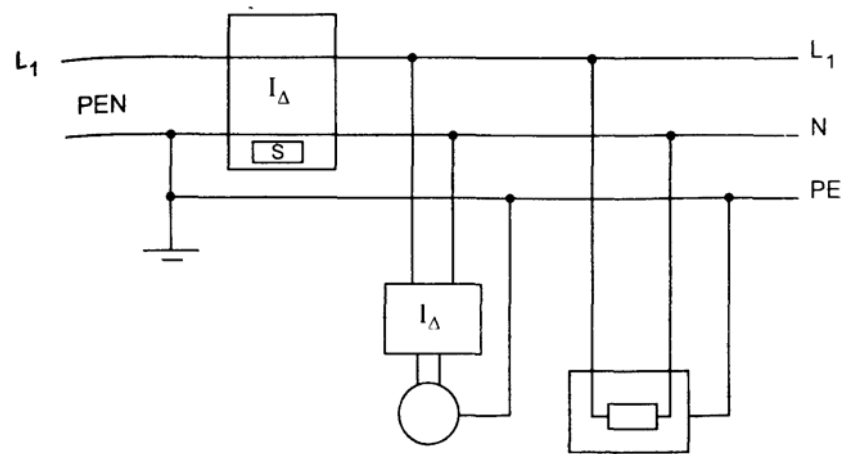


Рис. 4.6. Пример распределительной сети с заземленной нейтралью (система TN-C-S) с основной защитой, защитой при повреждении и дополнительной защитой

Защита при повреждении изоляции обеспечивается в виде системы TN с устройством защиты от сверхтока.

Дополнительная защита выполняется в виде устройств защитного отключения. Если заземляющие проводники оборваны или повреждены, устройства защитного отключения защитят от повреждения изоляции «фаза — земля». Они также защитят от прямого контакта с опасными токоведущими частями.

4.2.5. Характеристики присоединенного электрооборудования

Основная защита требует сохранения недоступности для непреднамеренного прямого прикосновения к опасным токоведущим частям. Основная защита требует также, чтобы токоведущие части цепи, работающей на безопасном сверхнизком напряжении (БСНН) не были доступны при эксплуатации в помещениях с повышенной опасностью.

Для систем с напряжением по отношению к земле более 150 В защита при повреждении изоляции обязательна. При напряжении прикосновения выше 150 В ток через тело человека определяется сопротивлением внутренних органов человека и практически не зависит от площади контакта. При напряжении 150 В сопротивление кожи практически не оказывает заметного влияния на общее сопротивление тела человека. В этом случае защитный заземляющий проводник (PE-проводник) должен быть использован повсеместно во всех частях системы, и должно быть использовано оборудование только класса I¹ или класса II². В некоторых специальных

помещениях с особо опасными условиями эксплуатации может быть использовано оборудование класса Ш³ (защита посредством безопасного сверхнизкого напряжения).

Штепсельные розетки без заземляющих контактов широко распространены в старых электроустановках и новые требования на них не распространяются. Переносное оборудование может быть класса О¹, хотя часто используется класс II. Оболочка оборудования класса О часто выполняется из изоляционного материала и это повышает безопасность.

Примечания:

1) Оборудование класса I определяется как оборудование, имеющее основную изоляцию, и снабженное контактом для присоединения защитного заземляющего проводника к ОПЧ.

2) Оборудование класса II обеспечивается системой двойной изоляции, содержащей основную и дополнительную изоляцию, или — усиленной изоляцией.

3) Оборудование класса III определяется как оборудование, в котором защита от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции обеспечивается питанием от цепи БСНН, которая имеет основную изоляцию для защиты токоведущих частей.

4) Оборудование класса О имеет единственную изоляцию, и к ОПЧ которого не предусмотрено подключение защитного заземляющего проводника.

4.3. Уравнивание потенциалов

4.3.1. Общие сведения

Эквипотенциальные соединения иногда считают полноценным заменителем автоматического отключения для защиты от косвенного прикосновения (защита при повреждении). Однако, неправильно предполагать, что внутри зоны растекания тока с заземляющего устройства нет разности потенциалов.

Напротив, во время короткого замыкания (к.з.) градиент потенциала на поверхности земли значителен и конфигурация заземляющего устройства существенно влияет на эффективность защитного действия эквипотенциальных соединений. В ряде случаев неадекватное применение эквипотенциальных соединений может увеличить опасность поражения электрическим током.

Доступные открытые проводящие части электрооборудования (ОПЧ) соединяются между собой и присоединяются к защитному заземляющему проводнику. Сторонние проводящие части (СПЧ), доступные прикосновению, включая стальные водопроводные трубы, трубы газоснабжения и трубы водяного отопления, кабелеспродовы, металлические ограждения, стальные и железобетонные конструкции зданий, проводящие полы и т. д. также соединяются с ЗУ электроустановки.

Во время протекания тока при повреждении изоляции напряжение на

этих частях будет определяться падением напряжения, вызванным током замыкания.

Все части здания, не связанные с ЗУ, получают потенциал земли, обусловленный естественной проводимостью этих частей.

Если человек, находящийся в здании, прикоснется рукой к токоведущим частям, электрического удара не произойдет в том случае, если человек при этом имеет доступ только к непроводящим частям. Если человек коснулся токоведущих контактов штепсельной розетки и одновременно другой рукой коснулся стен или пола внутри здания, высокое сопротивление петли замыкания обусловит появление весьма незначительного напряжения прикосновения и через тело человека будет протекать весьма незначительный ток.

В таких зданиях опасность поражения электрическим током возникает при одновременном прикосновении к двум электроприборам, которые имеют проводящие части разного напряжения (например, открытый фазный проводник и открытый проводник цепи заземления).

Опасность поражения не может быть снижена посредством применения УЗО-Д, поскольку УЗО-Д в этой ситуации не может отличить ток через человека от тока нагрузки. Однако, вероятность двойного короткого замыкания мала. Защита посредством использования изоляционных свойств здания неэффективна, если человек стоит на проводящей поверхности, имеющей связь с землей. В этих условиях защита может быть обеспечена посредством УЗО-Д.

Если ЗУ электроустановки здания связано с фундаментным заземлителем и защитными проводниками, то при отсутствии повреждения изоляции условия электробезопасности практически остаются такими же как и в предыдущем случае. Однако, для создания опасных условий, приводящих к поражению электрическим током, уже не требуется двойного повреждения изоляции. В этом случае опасный ток будет протекать через тело человека при одновременном прикосновении к токоведущей части и доступной проводящей части (ОПЧ и СПЧ).

Как уже отмечалось, при повреждении изоляции между токоведущей частью и ОПЧ, в зоне стекания тока с фундаментного заземлителя появляется колоколообразное распределение потенциала.

СПЧ (металлический и железобетонный каркас здания, металлические конструктивные элементы здания) приобретают потенциал ЗУ электроустановки здания. Этот же потенциал приобретают также ОПЧ электроустановки, связанные РЕ-проводником с фундаментным заземлителем здания. Сторонние проводящие части неэлектрического оборудования не участвуют в протекании тока замыкания, если они не присоединены к защитному проводнику. Опасность может возникнуть когда СПЧ присоединены к защитным заземляющим проводникам. В этом случае защита может быть обеспечена посредством применения УЗО-Д. Если человек имеет контакт с заземленными проводящими поверхностями, использование УЗО-Д эффективно.

Значение эквипотенциальных связей, вообще говоря, уменьшается при

использовании непроводящих материалов для водопроводных и отопительных трубопроводов; более того, если потенциал, возникающий при повреждении изоляции, может переноситься проводящими частями неэлектротехнического оборудования, эквипотенциальные связи могут увеличивать опасность поражения электрическим током.

Приведенные соображения позволяют сделать следующие выводы:

1) Во многих современных зданиях с трубопроводными системами, выполненными из непроводящих материалов, эквипотенциальные связи не оказывают существенного влияния на условия электробезопасности;

2) Вне зданий эквипотенциальные связи часто оказываются неэффективными и при ненадлежащем применении могут вызывать результат, противоположный ожидаемому. Непреднамеренные «эквипотенциальные» связи могут приводить к выносу опасного потенциала;

3) Эквипотенциальные связи должны рассматриваться в качестве одного из видов дополнительной защиты, которая может только снизить опасность поражения электрическим током при повреждении изоляции, но не может считаться альтернативой защите посредством автоматического отключения при повреждении изоляции;

4) Эквипотенциальные связи с высокой проводимостью между землей и металлическими частями водопровода, имеющими контакт с водой в бассейне или ванне, будут способствовать действию УЗО-Д, если электрооборудование без заземляющего проводника погружено в воду. Защитно-отключающее устройство дифференциального типа не в состоянии защитить от межфазного замыкания, не сопровождающегося током утечки на землю.

5) Если в ванной располагаются две или более системы трубопроводов из проводящего материала, дополнительное эквипотенциальное соединение между ними необходимо. Однако, поскольку главный эквипотенциальный проводник соединяет все трубопроводы здания, выполненные из проводящих материалов, с РЕ-проводником в единую эквипотенциальную систему, дополнительный проводник для эквипотенциальной связи не требуется присоединять к защитному заземляющему проводнику. Это было бы излишним.

Назначение уравнивания потенциалов с помощью эквипотенциальных связей — сделать среду обитания человека свободной от появления разности потенциалов. Это означает, что все проводящие части электротехнического (ОПЧ) и неэлектротехнического оборудования, строительных конструкций (СПЧ) должны быть соединены между собой. Части, которые не могут сохранить общий потенциал (не могут быть присоединены к общей системе уравнивания потенциалов), должны быть отделены от остального оборудования таким образом, чтобы они не были доступны для одновременного прикосновения. Если в результате повреждения изоляции или индукции возникает импульс напряжения на одной из доступных проводящих частей, то все доступные одновременному прикосновению проводящие части должны приобрести то же самое напряжение для исключения появления разности напряжений, опасной для человека.

В случае, когда одна из доступных частей является землей, все окружающее оборудование должно быть соединено с землей через возможно более низкое сопротивление. Для этого недостаточно связать все доступные проводящие части оборудования и конструкций (ОПЧ и СПЧ) между собой. Особое внимание должно быть обращено на защиту от непреднамеренного внесения потенциала в места, где уравнивание потенциала не может считаться адекватной защитой.

4.3.2. Нормативные рекомендации по уравниванию потенциалов

4.3.2.1. С целью уравнивания потенциалов в тех зданиях, помещениях и наружных установках, в которых применяются заземление или зануление открытых проводящих частей, должны быть объединены с основной системой уравнивания потенциалов следующие проводящие части:

— основной (магистральный) защитный проводник (РЕ- или PEN-проводник);

— основной (магистральный) заземляющий проводник или основной заземляющий зажим; металлические части строительных и производственных конструкций, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования, подкрановые и железнодорожные рельсовые пути, система центрального отопления и системы вентиляции и кондиционирования воздуха. При этом должна быть обеспечена непрерывность электрической цепи, образованной стальными и железобетонными каркасами производственных зданий и сооружений на всем протяжении их использования в качестве РЕ- или PEN-проводников.

4.3.2.2. Сечение главного проводника системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника установки, но не менее 6 мм^2 . Однако не требуется применять проводники сечением более 25 мм^2 по меди или равноценное ему, если проводник изготовлен из другого металла.

4.3.2.3. Сечение дополнительного проводника системы уравнивания потенциалов, соединяющего две открытые проводящие части электрооборудования, нормально не находящихся под напряжением, должно быть не менее сечения наименьшего из защитных проводников, подключенных к этим частям.

Сечение дополнительного проводника системы уравнивания потенциалов, соединяющего заземляемые части электрооборудования и металлические конструкции строительного и производственного назначения, должно быть не менее половины сечения защитного проводника электрооборудования, подключенного к данной заземляющей части.

4.3.2.4. Связь для уравнивания потенциалов может быть обеспечена либо металлоконструкциями строительного и производственного назначения, либо дополнительными проводниками, либо сочетанием того и другого.

4.3.2.5. В случае использования труб водопровода здания в качестве заземляющих или защитных проводников необходимо предусматривать шунтирование расходомеров при помощи проводника надлежащего сечения, в зависимости от того, используется ли он в качестве защитного проводника системы уравнивания потенциалов или проводника рабочего заземления.

4.3.2.6. Доступные прикосновению открытые проводящие части (ОПЧ) должны быть заземлены или занулены путем присоединения к защитному проводнику в соответствии с особенностями типов систем заземления.

К частям, подлежащим занулению или заземлению согласно 1.5.2. относятся:

- 1) корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т. п. (см. также 1.5.13—1.5.19);
- 2) приводы электрических аппаратов;
- 3) вторичные обмотки измерительных трансформаторов (см. также 3.4.23 и 3.4.24 ПУЭ);

4) каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков и шкафов, а также съемные или открывающиеся части, если на последних установлено электрооборудование напряжением выше 25 В переменного тока или более 60 В постоянного тока;

5) металлические конструкции распределительных устройств, металлические кабельные конструкции, металлические кабельные муфты, металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, металлические оболочки проводов, металлические рукава и трубы электропроводки, кожухи и опорные конструкции шинпроводов, лотки, короба, струны, тросы и стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода (кроме струн, тросов и полос, по которым проложены кабели с заземленной или зануленной металлической оболочкой или броней), а также другие металлические конструкции, на которых устанавливается электрооборудование;

6) металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей и проводов напряжением до 25 В переменного тока и до 60 В постоянного тока, проложенных на общих металлических конструкциях, в том числе в общих трубах, коробах, лотках и т. п. Вместе с кабелями и проводами, металлические оболочки и броня которых подлежат заземлению и занулению;

7) металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;

8) электрооборудование, размещенное на движущихся частях станков, машин и механизмов.

4.3.2.7. Не требуется преднамеренно заземлять или занулять:

1) корпуса электрооборудования, аппаратов и электромонтажных конструкций, установленных на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, распределительных устройствах, на щитках, шкафах, станинах станков, машин и механизмов, при условии обеспечения надежного электрического контакта с заземленными или зануленными основаниями;

2) конструкции, перечисленные в 4.3.2.6 п. 5, при условии надежного

электрического контакта между этими конструкциями и установленным на них заземленным или зануленным электрооборудованием. При этом указанные конструкции не могут быть использованы для заземления или зануления установленного на них другого электрооборудования;

3) съемные или открывающиеся части металлических каркасов камер распределительных устройств, шкафов, ограждений и т. п., если на съемных (открывающихся) частях не установлено электрооборудование или если напряжение установленного электрооборудования не превышает 25 В переменного тока или 60 В постоянного тока (исключение — см. гл. 7.3 ПУЭ);

4) корпуса электроприемников с двойной изоляцией;

5) металлические скобы, крепежи, отрезки труб механической защиты кабелей в местах их прохода через стены и перекрытия и другие подобные детали, в том числе протяжные и осветительные коробки размером до 100 см², электропроводок, выполняемых кабелями или изолированными проводами, прокладываемыми по стенам, перекрытиям и другим элементам строений.

4.4. Электроустановки напряжением выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью

4.4.1. Нормативные требования

Заземляющие устройства электроустановок выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью следует выполнять с соблюдением требований либо к их сопротивлению (табл. 4.5), либо к напряжению прикосновения (см. табл. 2.3), а также с соблюдением требований к конструктивному выполнению (см. табл. 5.23) и к ограничению напряжения на заземляющем устройстве (табл. 4.6). Требования не распространяются на заземляющие устройства опор ВЛ.

Таблица 4.5. Предельно допустимое сопротивление R заземляющего устройства электроустановок напряжением выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью

Сопротивление заземляющего устройства R , Ом	Удельное сопротивление земли ρ , Ом · м
0,5	$\rho \leq 500$
$10^{-3} \rho$	$500 \leq \rho \leq 5000$
5	$\rho \geq 5000$

Примечания: 1. Заземляющее устройство, которое выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более указанного, включая сопротивление естественных заземлителей.

2. В целях выравнивания электрического потенциала и обеспечения присоединения электрооборудования к заземлителю на территории, занятой оборудованием, следует прокладывать продольные и поперечные горизонтальные заземлители и соединять их между собой в заземляющую сетку (см. табл. 5.21).

Таблица 4.6. Предельно допустимое напряжение на заземляющем устройстве при стекании с него тока замыкания на землю

Нормируемое напряжение U , кВ	Дополнительные защитные меры
До 5	Не требуются
$5 \leq U \leq 10$	Должны быть предусмотрены меры по защите изоляции отходящих кабелей связи и телемеханики и по предотвращению выноса опасного потенциала заземляющего устройства за пределы электроустановки
Выше 10	Исключен вынос потенциала заземляющего устройства за пределы зданий и внешних ограждений электроустановки

4.4.2. Нормативные рекомендации

4.4.2.1. Заземляющее устройство электроустановки напряжением выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью следует выполнять с соблюдением требований либо к напряжению прикосновения в соответствии с ГОСТ 12.1.038—82 «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов» (см. 4.2.5.), либо с соблюдением требований к его сопротивлению и к конструктивному выполнению (см. 4.2.3., 4.2.8. и 4.2.9.) Как в том, так и в другом случае должно быть соблюдено требование ограничения напряжения на заземляющем устройстве (см. 4.2.2.). Требования 4.2.1.—4.2.9. не распространяются на заземляющие устройства опор ВЛ.

Для рабочего и защитного заземлений выполняется единое заземляющее устройство. Дополнительные требования к рабочему и защитному заземлениям содержатся в главах 2.5., 4.2 ПУЭ.

4.4.2.2. Напряжение на заземляющем устройстве при стекании с него расчетного тока замыкания на землю не должно превышать 10 кВ. Напряжение выше 10 кВ допускается на заземляющем устройстве, с которого исключен вынос потенциала за пределы внешнего ограждения электроустановки. При напряжении на заземляющем устройстве более 5 кВ должны быть предусмотрены меры по защите изоляции отходящих кабелей связи и телемеханики и по предотвращению выноса опасных потенциалов за пределы электроустановки.

4.4.2.3. Заземляющее устройство, выполняемое с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом с учетом естественных заземлителей.

4.4.2.4. В целях выравнивания электрического потенциала и обеспечения присоединения электрооборудования к заземляющему устройству на территории, занятой оборудованием, следует прокладывать продольные и поперечные горизонтальные заземлители и соединять их между собой в заземляющую сетку.

Продольные заземлители должны быть проложены вдоль осей электрооборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5—0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8—1 м от фундаментов или оснований оборудования. Допускается увеличение расстояний от фундаментов или оснований оборудования до 1,5 м с прокладкой одного заземлителя для двух рядов оборудования, если стороны обслуживания обращены одна к другой, а расстояние между фундаментами или основаниями двух рядов не превышает 3,0 м.

Поперечные заземлители следует прокладывать в удобных местах между оборудованием на глубине 0,5—0,7 м от поверхности земли. Расстояние между ними рекомендуется принимать увеличивающимся от периферии к центру заземляющей сетки. При этом первое и последующие расстояния, начиная от периферии, не должны превышать соответственно 4,0; 5,0; 6,0; 7,5; 9,0; 11,0; 13,5; 16,0 и 20,0 м.

Размеры ячеек заземляющей сетки, примыкающих к местам присоединения нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей, компенсирующих аппаратов и т. п. к заземляющему устройству, не должны превышать 6×6 м².

Горизонтальные заземлители следует прокладывать по краю территории, занимаемой заземляющим устройством, так, чтобы они в совокупности образывали замкнутый контур.

Глубина укладки горизонтальных заземлителей на территории ОРУ должна быть не менее 0,5 м, за территорией электроустановки — не менее 1 м.

В скальных породах допускается прокладывать заземлители на меньшей глубине, но не менее 0,15 м.

Вертикальные заземлители, применяемые для снижения сопротивления заземляющего устройства, рекомендуется устанавливать по его внешнему периметру.

Если контур заземляющего устройства располагается в пределах внешнего ограждения, то у входов и въездов на ее территорию следует выравнивать потенциал путем установки двух вертикальных заземлителей у внешнего горизонтального заземлителя напротив входов и въездов. Вертикальные заземлители должны быть длиной 3—5 м, а расстояние между ним должно быть равно ширине входа или въезда.

4.4.2.5. Заземляющее устройство, выполняемое с соблюдением требований, предъявляемых к напряжению прикосновения, должно обеспечивать в любое время года при стекании с него тока замыкания на землю значения напряжения прикосновения, не превышающих нормированных ГОСТ 12.1.038—82. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов». Сопротивление заземляющего устройства при этом определяется по допустимому напряжению на заземляющем устройстве и току замыкания на землю.

4.4.2.6. При определении значения допустимого напряжения прикосновения в качестве расчетного времени воздействия следует принимать сумму времени действия защиты и полного времени отключения выключателя. При этом для определения допустимого значения напряжения прикосновения

у рабочих мест, где при производстве персоналом оперативных переключений может возникнуть КЗ, следует принимать время действия резервной защиты, а для остальной территории — основной защиты.

4.4.2.7. Размещение продольных и поперечных горизонтальных заземлителей должно определяться требованиями ограничения напряжений прикосновения до нормированных значений и удобством присоединения заземляющего оборудования. Расстояние между продольными и поперечными горизонтальными искусственными заземлителями не должно превышать 30 м, а глубина их заложения в грунт должна быть не менее 0,3 м. У рабочих мест допускается прокладка заземлителей на меньшей глубине, если необходимость этого подтверждается расчетом, а само выполнение не снижает удобства обслуживания электроустановки и срока службы заземлителя. Для снижения напряжений прикосновения у рабочих мест в обоснованных случаях может быть выполнена подсыпка щебня толщиной 0,1—0,2 м.

4.4.2.8. При выполнении заземляющего устройства с соблюдением требований, предъявляемых к его сопротивлению или к напряжению прикосновения (ГОСТ 12.1.038—82), дополнительно к требованиям 4.2.3 или 4.2.5. следует:

заземляющие проводники, присоединяющие оборудование или конструкции к заземлителю, в земле прокладывать на глубине не менее 0,3 м;

вблизи мест расположения заземляемых нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей, компенсирующих аппаратов и т. п. прокладывать продольные и поперечные горизонтальные заземлители, которые должны обеспечивать распределение тока не менее чем в двух направлениях.

При выходе заземляющего устройства за пределы ограждения электроустановки горизонтальные заземлители, находящиеся вне территории электроустановки, следует прокладывать на глубине не менее 1 м. Внешний контур заземляющего устройства в этом случае рекомендуется выполнять в виде многоугольника с тупыми или скругленными углами.

4.4.2.9. Внешнюю ограду электроустановки не рекомендуется присоединять к заземляющему устройству, если последнее не выходит за пределы ограды.

Когда ограждение не присоединено к заземляющему устройству, расстояние от элементов ограды до элементов заземляющего устройства должно быть не менее 2 м. Если от электроустановки отходят воздушные линии электропередачи напряжением 110 кВ и выше, то металлическую или железобетонную ограду следует заземлять с помощью вертикальных заземлителей длиной 2—3 м, установленных по периметру ограды через 20—50 м. Установка таких заземлителей не требуется для ограды с металлическими стойками или стойками из железобетона, арматура которых электрически соединена с металлическими частями ограды.

Внешнюю ограду электроустановки рекомендуется присоединить к заземляющему устройству в случаях, когда последнее выходит за пределы ограждения. Во всех случаях напряжение прикосновения к ограждению не должно превышать допустимых значений. С этой целью рекомендуется

с внешней стороны ограждения на расстоянии 1 м от него и на глубине 0,5 м проложить замкнутый горизонтальный заземлитель, связанный с заземляющим устройством не менее чем с четырех сторон. С этой же целью и таким же образом прокладывается замкнутый горизонтальный заземлитель вокруг зданий, расположенных вне контура заземляющего устройства и имеющего металлическую связь с этим контуром. При наличии асфальтовых отмонок замкнутый заземлитель не обязателен.

Внутреннее ограждение электроустановки следует присоединять к заземляющему устройству. Внутреннее ограждение подсоединяется к внешнему только в случае присоединения последнего к заземляющему устройству. Изоляция внешнего ограждения от внутреннего должна выполняться так же, как внешнего от зданий и сооружений.

Не следует устанавливать на внешней ограде электроприемники напряжением до 1 кВ, питаемые непосредственно от понизительных трансформаторов, расположенных на территории электроустановки. При размещении электроприемников на внешней ограде их питание следует осуществлять через разделяющие трансформаторы. Эти трансформаторы не допускается устанавливать на ограде. Линия, соединяющая вторичную обмотку разделяющего трансформатора с электроприемником, расположенным на ограде, должна быть изолирована от земли на расчетное значение напряжения на заземляющем устройстве.

Выходящие за пределы ограды горизонтальные заземлители, трубопроводы, кабели с металлическими защитными покровами и другие металлические коммуникации должны быть проложены посередине между стойками ограды на глубине не менее 0,5 м.

4.4.2.10. Если заземляющее устройство промышленной или другой электроустановки соединено с заземлителем электроустановки выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью кабелем с металлической оболочкой или броней или посредством других металлических связей, то для выравнивания потенциалов вокруг такой электроустановки или вокруг здания, в котором она размещена, необходимо соблюдение одного из следующих условий:

1. Укладка в землю на глубине 1 м и на расстоянии 1 м от фундамента здания или от периметра территории, занимаемой оборудованием, заземлителя, соединенного с металлическими конструкциями строительного и производственного назначения и сетью заземления (зануления), а у входов и въездов в здание — укладка проводников на расстоянии 1 и 2 м от заземлителя на глубине 1 и 1,5 м соответственно и соединение этих проводников с заземлителем;

2. Использование железобетонных фундаментов в качестве заземлителей в соответствии с 1.5.4 и 5.9.1, если при этом обеспечивается допустимый уровень выравнивания потенциалов. Обеспечение условий выравнивания потенциалов с помощью железобетонных фундаментов, используемых в качестве заземлителей, определяется на основе требований ГОСТ 12.1.030—81 «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление».

Не требуется выполнение условий, указанных в пп. 1 и 2, если вокруг здания имеются асфальтовые отмостки, в том числе у входов и въездов. Если у какого-либо входа (въезда) отмостка отсутствует, у этого входа (въезда) должно быть выполнено выравнивание потенциалов путем укладки двух проводников, как указано в п. 1, или соблюдено условие по п. 2. При этом во всех случаях должны выполняться требования 4.4.2.11.

4.4.2.11. Во избежание выноса потенциала не допускается: питание электроприемников, находящихся за пределами заземляющих устройств электроустановок выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью, от обмоток до 1 кВ с заземленной нейтралью трансформаторов, находящихся в пределах контура заземляющего устройства;

питание электроприемников от трансформаторов с изолированной нейтралью, если эти трансформаторы заземляются на заземляющее устройство, на котором возможно возникновение потенциала, превышающего напряжение срабатывания пробивного предохранителя, а электроприемники располагаются за пределами заземляющего устройства.

При необходимости питания таких электроприемников, на территории, занимаемой такими электроприемниками, должно быть выполнено выравнивание потенциалов. См. также 4.4.2.10.

4.5. Электроустановки напряжением выше 1 кВ сети с изолированной нейтралью

4.5.1. Нормативные требования

В электроустановках напряжением выше 1 кВ сети с изолированной нейтралью сопротивление R заземляющего устройства при прохождении расчетного тока замыкания на землю I в любое время года с учетом сопротивления естественных заземлителей должно быть не более значений, приведенных в табл. 4.7, при этом должны выполняться также требования, предъявляемые к заземлению (занулению) электроустановок напряжением до 1 кВ.

Таблица 4.7. Предельно допустимое сопротивление заземляющего устройства

Использование заземляющего устройства	Сопротивление заземляющего устройства R , Ом	Удельное сопротивление земли ρ , Ом · м
Для электроустановок напряжением до 1 кВ и выше	$R = 125/I$	$\rho \leq 500$
Для электроустановок напряжением выше 1 кВ	$R = 250/I$, но не более 10 Ом	$\rho \leq 500$
Для электроустановок напряжением до 1 кВ и выше	$R = 0,25\rho/I$	$500 \leq \rho \leq 5000$

Продолжение табл. 4.7

Использование заземляющего устройства	Сопротивление заземляющего устройства R , Ом	Удельное сопротивление земли ρ , Ом · м
Только для электроустановок напряжением выше 1 кВ	$R = 0,50\rho/I$, но не более 100 Ом	$\rho \geq 5000$
Для электроустановок напряжением до 1 кВ и выше	$R = 1250/I$	
Для электроустановок напряжением выше 1 кВ	$R = 2500/I$, но не более 100 Ом	

Примечания: 1. В качестве расчетного тока I принимается:

- в сетях без компенсации емкостных токов — полный ток замыкания на землю;
- в сетях с компенсацией емкостных токов: для заземляющих устройств, к которым присоединены компенсирующие аппараты, — ток, равный 125% номинального тока этих аппаратов; для заземляющих устройств, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, — остаточный ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов или наиболее разветвленного участка цепи.

В качестве расчетного тока может быть принят ток плавления предохранителей или ток срабатывания релейной защиты от однофазных замыканий на землю или междуфазных замыканий, если в последнем случае защита обеспечивает отключение замыканий на землю, при этом ток замыкания на землю должен быть не менее полукратного тока срабатывания релейной защиты или трехкратного номинального тока предохранителей.

Расчетный ток замыкания на землю должен быть определен для той из возможных в эксплуатации схем сети, при которой этот ток имеет наибольшее значение.

2. В открытых электроустановках напряжением выше 1 кВ сетей с изолированной нейтралью вокруг площади, занимаемой оборудованием, на глубине не менее 0,5 м должен быть проложен замкнутый горизонтальный заземлитель (контур), к которому подсоединяется заземляемое оборудование. Если сопротивление заземляющего устройства более 10 Ом (для земли с ρ более 500 Ом · м), то следует дополнительно проложить горизонтальные заземлители вдоль рядов оборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5 м и на расстоянии 0,8—1 м от фундаментов или оснований оборудования.

4.5.2. Нормативные рекомендации

4.5.2.1. Заземляющее устройство электроустановки напряжением выше 1 кВ сети с изолированной нейтралью следует выполнять с соблюдением требований либо к напряжению прикосновения (ГОСТ 12.1.038—82 «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»), либо с соблюдением требований к его сопротивлению и к конструктивному выполнению (см. 5.2.8.).

Как в том, так и в другом случае должно быть соблюдено требование ограничения напряжения на заземляющем устройстве. Требования не распространяются на заземляющие устройства опор ВЛ.

4.5.2.2. Напряжение на заземляющем устройстве при стекании с него расчетного тока замыкания на землю (п. 5.2.7.) не должно превышать:

при использовании заземляющего устройства только для электроустановок выше 1 кВ — 250 В;

при использовании заземляющего устройства одновременно для электроустановки до 1 кВ — 125 В.

4.5.2.3. Заземляющее устройство, выполняемое с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время год сопротивление не более 1 Ом с учетом естественных заземлителей.

4.5.2.4. Заземляющее устройство, выполняемое с соблюдением требований, предъявляемых к напряжению прикосновения, должно обеспечивать в любое время года при стекании с него тока замыкания на землю значенный напряжения прикосновения, не превышающих нормированных ГОСТ 12.038—82. При этом сопротивление заземляющего устройства определяется по допустимому напряжению на заземляющем устройстве и расчетному току замыкания на землю. (п. 5.2.7.).

4.5.2.5. В электроустановках выше 1 кВ с изолированной нейтралью в дополнение к заземлению должны быть предусмотрены устройства для быстрого отыскания замыканий на землю (см. главу 1.6 ПУЭ). Защита от замыканий на землю должна устанавливаться с действием на отключение (по всей электрически связанной сети) в тех случаях, в которых это необходимо по условиям безопасности (для линий, питающих передвижные подстанции и механизмы, торфяные разработки и т. п.) — см. также главу 3.2. ПУЭ.

4.5.2.6. Напряжения прикосновения рекомендуются определять для времени его воздействия при наличии защиты, действующей на отключение, как суммы времени действия основной защиты и полного времени отключения выключателя. При отсутствии такой защиты время воздействия следует принимать выше 1 сек.

4.5.2.7. При определении напряжения на заземляющем устройстве и напряжения прикосновения в качестве расчетного тока следует принимать:

1) в сетях без компенсации емкостных токов — полный ток замыкания на землю;

2) в сетях с компенсацией емкостных токов:

для заземляющих устройств, к которым присоединены компенсирующие аппараты, — ток, равный 125% номинального тока этих аппаратов;

для заземляющих устройств, к которым не присоединены компенсирующие аппараты, — остаточный ток замыкания на землю, проходящий в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих аппаратов или наиболее разветвленного участка сети.

В качестве расчетного тока может быть принят ток срабатывания релейной защиты от однофазных замыканий на землю или междуфазных замыканий, если в последнем случае защита обеспечивает отключение замыканий на землю. При этом ток замыкания на землю должен быть не менее полукратного тока срабатывания релейной защиты или трехкратного номинального тока предохранителей.

Расчетный ток замыкания на землю должен быть определен для той из возможных в эксплуатации схем сети, при которой этот ток имеет наибольшее значение.

4.5.2.8. В случаях, когда заземляющее устройство выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, в целях выравнивания потенциала в открытых электроустановках вокруг площади, занимаемой электрооборудованием, на расстоянии 0,8—1 м от фундаментов или оснований электрооборудования на глубине 0,5 м должен быть проложен замкнутый горизонтальный заземлитель («контур»), к которому подсоединяется заземляемое оборудование.

Если сопротивление заземляющего устройства выше 10 Ом (в соответствии с 5.6.5 для земли с удельным сопротивлением более 500 Ом · м), то следует дополнительно проложить горизонтальные заземлители вдоль рядов оборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5 м и на расстоянии 0,8—1 м от фундаментов или оснований оборудования.

При установке оборудования на опорах ВЛ горизонтальный заземлитель должен быть проложен со стороны обслуживания на расстоянии 0,8—1 м от фундамента на глубине 0,5 м и присоединен к заземлителю опоры.

4.6. Электроустановки напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью и с изолированной нейтралью

4.6.1. Нормативные требования

Предельно допустимые значения сопротивлений растеканию заземляющего устройства электроустановок напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью даны в табл. 4.8 (заземление нейтралей генераторов или трансформаторов или выводов источника однофазного тока) и в табл. 4.9 (повторные заземлители), с изолированной нейтралью — в табл. 4.10.

Таблица 4.8. Предельно допустимое сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генераторов или трансформаторов или выводы источника однофазного тока

Линейное напряжение источника тока, В		Сопротивление заземляющего устройства, R, Ом	Удельное сопротивление земли ρ, Ом · м
трехфазного	однофазного		
660	380	2	ρ ≤ 100
380	220	4	
220	127	8	
660	380	0,02 ρ	100 ≤ ρ ≤ 1000
380	220	0,04 ρ	
220	127	0,08 ρ	

Продолжение табл. 4.8

Линейное напряжение источника тока, В		Сопротивление заземляющего устройства, R, Ом	Удельное сопротивление земли ρ , Ом · м
трехфазного	однофазного		
660	380	20	$\rho \geq 1000$
380	220	40	
220	127	80	

Примечания: 1. Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генераторов или трансформаторов или выводы источников однофазного тока, в любое время года должно быть не более приведенных значений. Это сопротивление должно обеспечиваться с учетом использования естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений нулевого провода ВЛ напряжением до 1 кВ при числе отходящих линий не менее двух.

2. Нейтраль генератора, трансформатора на стороне до 1 кВ должна быть присоединена к заземлителю при помощи заземляющего проводника. Сечение заземляющего проводника должно быть не менее указанного в табл. 5.3.

Использование нулевого рабочего проводника, идущего от нейтрали генератора или трансформатора на щит распределительного устройства, в качестве заземляющего проводника не допускается.

Указанный заземлитель не должен быть расположен в непосредственной близости от генератора или трансформатора. В отдельных случаях, например, во внутрицеховых подстанциях, допускается сооружать заземлитель непосредственно около стены здания.

3. Вывод нулевого рабочего проводника от нейтрали генератора или трансформатора на щит РУ должен быть выполнен: при выводе фаз шинами — шиной на изоляторах, при выводе фаз кабелем (проводом) — жилой кабеля (провода). В кабелях с алюминиевой оболочкой допускается использовать оболочку в качестве нулевого рабочего проводника вместо четвертой жилы.

Проводимость нулевого рабочего проводника, идущего от нейтрали генератора или трансформатора, должна быть не менее 50% проводимости вывода фаз.

Таблица 4.9. Предельно допустимое сопротивление повторных заземлителей электроустановки напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью

Линейное напряжение источника тока, В		Сопротивление заземляющего устройства R, Ом	Удельное сопротивление земли ρ , Ом · м
трехфазного	однофазного		
660	380	5/15	$\rho \leq 100$
380	220	10/30	
220	127	20/60	
660	380	0,05 $\rho/0,15 \rho$	$100 \leq \rho \leq 1000$
380	220	0,10 $\rho/0,30 \rho$	
220	127	0,20 $\rho/0,60 \rho$	
660	380	50/150	$\rho \geq 1000$
380	220	100/300	
220	127	200/600	

Примечания: 1. Общее сопротивление растеканию заземлителей (в том числе естественных) всех повторных заземлений нулевого рабочего провода в каждой ВЛ в любое

время года должно быть не более значений, приведенных в числителе дроби. При этом сопротивление растеканию заземлителя каждого из повторных заземлений должно быть не более значений, приведенных в знаменателе дроби.

2. На ВЛ зануление должно быть осуществлено рабочим проводом, проложенным на тех же опорах, что и фазные провода.

3. На концах ВЛ (или ответвлений от них) длиной более 200 м, а также на отводах от ВЛ к электроустановкам, которые подлежат занулению, должны быть выполнены повторные заземлители нулевого рабочего провода. При этом в первую очередь следует использовать естественные заземлители, например, подземные части опор, а также заземляющие устройства, выполненные для защиты от грозových перенапряжений.

Указанные повторные заземлители не требуются по условиям защиты от грозových перенапряжений.

4. Повторные заземлители нулевого провода в сетях постоянного тока должны быть выполнены при помощи отдельных искусственных заземлителей, которые не должны иметь металлических соединений с подземными трубопроводами. Заземляющие устройства на ВЛ постоянного тока, выполненные для защиты от грозových перенапряжений, рекомендуется использовать для повторного заземления нулевого рабочего проводника.

5. Заземляющие проводники для повторных заземлителей нулевого провода должны быть выбраны из условия длительного прохождения тока не менее 25 А. По механической прочности эти проводники должны иметь размеры не менее приведенных в табл. 5.2.

Таблица 4.10. Предельно допустимое сопротивление заземляющего устройства

Мощность генераторов, трансформаторов S, кВ · А	Сопротивление заземляющего устройства R, Ом	Удельное сопротивление земли ρ , Ом · м
$S > 100$	4	$\rho \leq 500$
$S \leq 100$	10	
$S < 100$	$8 \cdot 10^{-3} \rho$	$500 \leq \rho \leq 5000$
$S \leq 100$	$2 \cdot 10^{-2} \rho$	
$S > 100$	40	$\rho \geq 5000$
$S \leq 100$	100	

Примечание. Если генераторы или трансформаторы работают параллельно, то сопротивление определяется их суммарной мощностью.

4.7. Особенности систем TN-C, TN-C-S, TN-S

4.7.1. Система TN (защитное заземление нейтрали)

Система TN используется для заземления оборудования с целью защиты от косвенного прикосновения к токоведущим частям при повреждении изоляции. PEN-проводник или PE-проводник присоединяется к заземляющему устройству питающей системы и частям, доступным прикосновению: открытым проводящим частям питаемого электрооборудования (ОПЧ) и сторонним проводящим частям (СПЧ).

В случае повреждения изоляции ток повреждения вызывает срабатывание устройства защиты от сверхтока, которое обесточивает цепь. Кроме того,

низкое сопротивление цепи обратного тока на участке от доступных проводящих частей (ОПЧ и СПЧ) до заземляющего устройства источника питания ограничивает напряжение прикосновения, которое может появиться на поврежденном оборудовании. Следовательно, это позволяет снизить вероятность поражения электрическим током.

Система TN может иметь одну из следующих возможных разновидностей: Система TN-C, система TN-S или система TN-C-S. Разновидность системы выбирается в зависимости от конкретных условий.

4.7.2. Система TN-C

Распределительная система TN-C имеет PEN-проводник, который выполняет одновременно функции нулевого рабочего проводника и нулевого защитного проводника на всем протяжении системы (рис. 4.7).

Заметим, что устройство защитного отключения УЗО-Д на рис. 4.7. зачеркнуто. УЗО-Д не может надлежащим образом функционировать в такой цепи. Применение УЗО-Д в такой цепи не разрешается по двум причинам.

Во-первых, ток повреждения, который протекает от доступных проводящих частей поврежденного электрооборудования через человека и возвращается в PEN-проводник, не воздействует на защитно-отключающее устройство как дифференциальный (разностный) ток. Ток повреждения не будет различим. Значительная часть тока повреждения будет возвращаться к источнику питания через устройство защитного отключения.

Ток может возвращаться также через другое оборудование, корпуса которого (ОПЧ или СПЧ) имеют случайное или преднамеренное соединение с PEN-проводником. В этом случае УЗО-Д бесполезны.

Во-вторых, если корпуса электрооборудования заземлены (занулены) посредством PEN-проводника и корпуса имеют контакт с землей, часть тока нагрузки может возвращаться к источнику питания через землю при нормальных условиях. Эта часть тока будет восприниматься защитно-отключающим устройством как дифференциальный (разностный) ток и устройство будет срабатывать, если эта часть тока, проходящая через землю, будет больше тока уставки защитно-отключающего устройства. Величина тока уставки, как правило, не превышает 0,5 А.

4.7.3. Система TN-S

Если в системе TN отдельный защитный заземляющий проводник не связан с нулевым рабочим проводником, то такая система называется системой TN-S (см. рис. 4.8).

В системе TN-S возможно и целесообразно в качестве дополнительной защиты применить устройство защитного отключения (УЗО-Д). В этой системе цепь нагрузочного тока отделена от земли и, следовательно, устройство

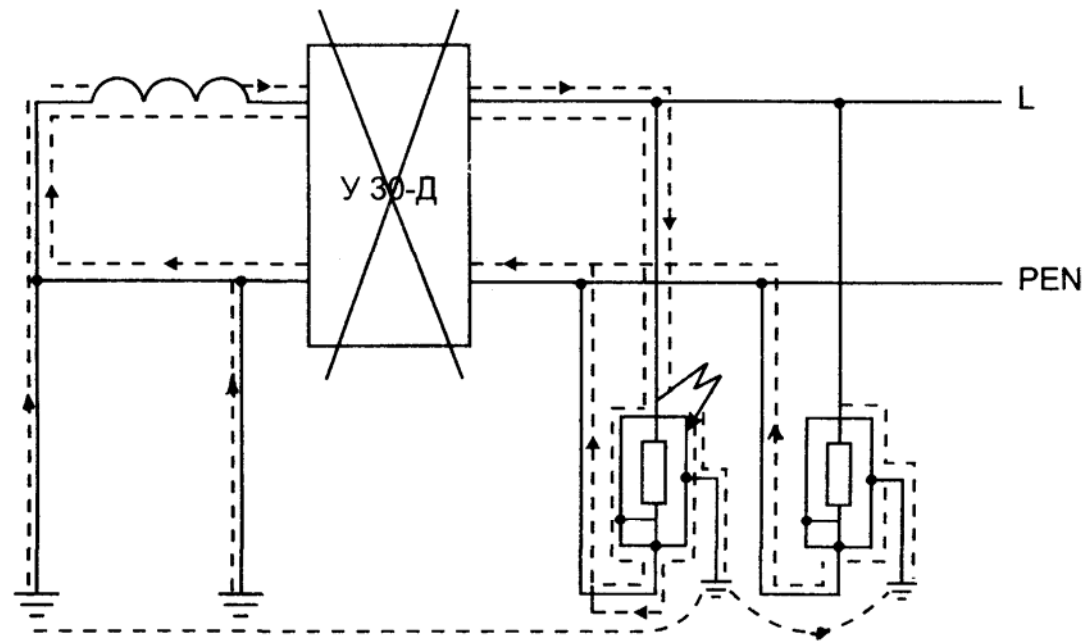


Рис. 4.7. Система TN-C (однофазная сеть)

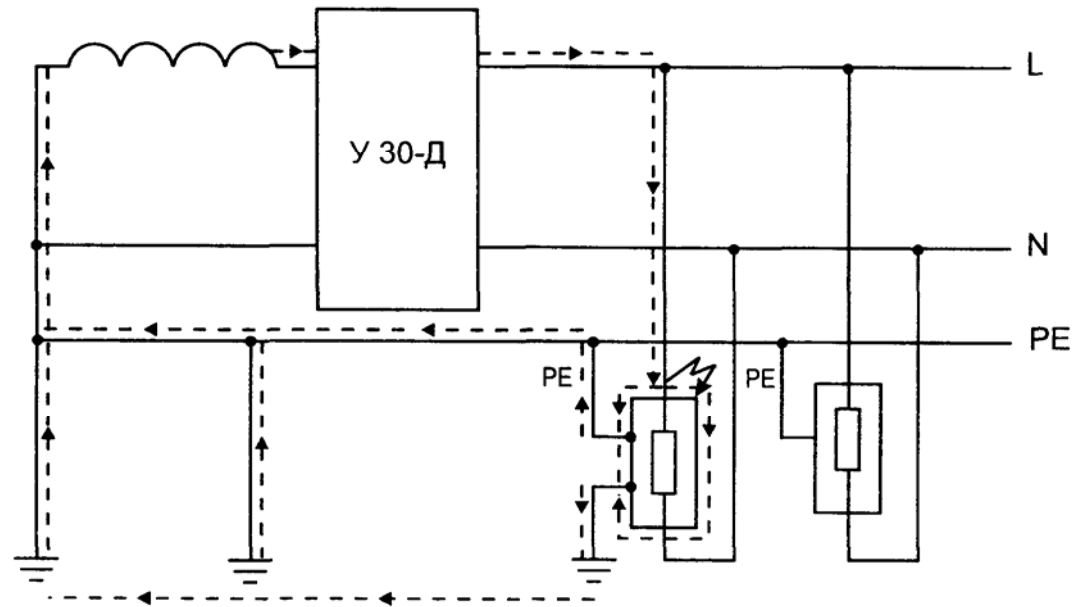


Рис. 4.8. Система TN-S (однофазная сеть)

защитного отключения будет нормально функционировать, обеспечивая защиту от замыкания на землю.

В ряде стран системы TN-C и TN-S используются для электроустановок в производственных зданиях, в высотных зданиях с их собственными понижающими трансформаторами и других подобных помещениях. Когда важно обеспечить защиту систем передачи информации и линий связи от помех, как правило, используется система TN-S (отдельный защитный проводник — PE-проводник).

4.7.4. Система TN-C-S

Наиболее часто в сетях общего пользования используется система TN-C-S, которая является комбинацией систем TN-C и TN-S.

PEN-проводник в системе TN-C-S используется только в распределительной системе общего пользования, а затем «расщепляется» на отдельный нулевой рабочий проводник и нулевой защитный проводник в зданиях потребителей (рис. 4.9.).

В США металлические кабелепроводы и распределительные щитки присоединяются к заземленному PEN-проводнику.

В ряде стран Европы PEN-проводник «расщепляется» на нулевой рабочий проводник и PE-проводник при площади поперечного сечения ниже 10 кв. мм (по меди). В США PEN-проводник расщепляется на отдельные нулевой рабочий и PE-проводники на вводе электрической сети в здание. В США отсутствует критерий расщепления PEN-проводника по площади поперечного сечения.

Во всех заземленных распределительных системах (системы TN-) заземленный PEN-проводник часто соединяется с заземлителями в нескольких точках сети. Требования, относящиеся к условиям заземления этого типа систем, рассмотрены далее.

Устройства защитного отключения УЗО-Д (RCD, GFCI) не могут удовлетворительно функционировать в той части сети, где используется PEN-проводник по тем же причинам, по которым эти устройства не могут удовлетворительно функционировать в системе TN-C.

Однако, на участке, где PEN-проводник расщеплен на отдельные PE- и N-проводники, применение УЗО не только возможно, но и желательно также как и в системе TN-S.

В США N-проводник не разрешается присоединять к земле (заземлять) со стороны нагрузки после расщепления. Исключением из этого правила являются линии для приготовления пищи (кухни предприятий питания), предприятия типа прачечных, химчистки и электрические сети, идущие от одного здания или сооружения к другим зданиям или сооружениям, являющимся частями одного владения (например, сети, идущие от здания к гаражу или к сараю). В этом случае питающую линию второго здания или сооружения разрешается рассматривать также как основную питающую линию. Это означает, что заземленный в начале линии N-проводник повторно заземляется,

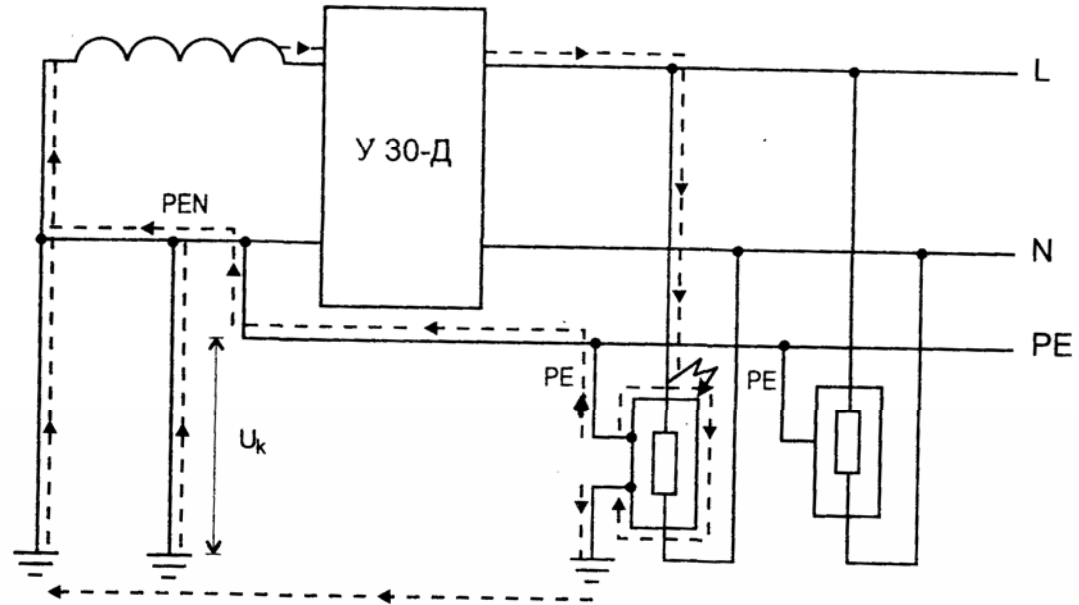


Рис. 4.9. Система TN-C-S (однофазная сеть)

превращаясь в PEN-проводник. При этом отпадает надобность в PE-проводнике в сетях между зданиями или конструкциями. В каждом конкретном случае имеется возможность выбора между системами TN-C, TN-S или TN-C-S, или, другими словами, — возможность решения вопроса о необходимости изоляции от земли N-проводника со стороны нагрузки после расщепления PEN-проводника. Использование PEN-проводника в питающей сети и недопущение дополнительных соединений с землей N-проводника во всех точках сети со стороны нагрузки в здании рекомендуется во всех случаях. Систему TN-S необходимо использовать там, где в сетях потребителя требуется УЗО-Д (GFCI — в США). В США защита с помощью GFCI (УЗО-Д) требуется для штепсельных розеток в подвальных помещениях домов, гаражах, кухнях, ванных комнатах, наружных установках.

Практика использования заземленного нейтрального проводника питающей сети для заземления металлических корпусов кухонного оборудования (электрических плит) предприятий по приготовлению пищи и корпусов электрооборудования для сушки одежды ведет начало со времен второй мировой войны как следствие экономии меди за счет отказа от PE-проводника. За время эксплуатации системы TN-C на этих предприятиях было зарегистрировано сравнительно небольшое число случаев поражения электрическим током.

Можно считать, что в этих производствах, характеризующихся наличием симметричной трехфазной нагрузки, система TN-C выдержала испытание временем и потому ее применение разрешено.

На рис. 4.9. символом U_x обозначено напряжение PEN-проводника, обусловленное падением напряжения в PEN-проводнике распределительной системы при протекании тока короткого замыкания. Во всех случаях система TN обеспечивает определенную степень защиты от поражения электрическим током, вызванным пробоем изоляции фазных проводников на заземленные доступные проводящие части, посредством ограничения напряжения U_x во время короткого замыкания и за счет ограничения длительности короткого замыкания посредством его отключения устройством защиты от сверхтоков. Амперсекундные характеристики устройства защиты от сверхтоков выбираются с учетом опасности перегрева проводников сети, вызываемого сверхтоками, а также с учетом пусковых токов двигателей. Амперсекундные характеристики устройств защиты от сверхтоков, как правило, выбираются без учета условий электробезопасности, но, практически, заземление оборудования в сочетании с устройством защиты от сверхтока может обеспечить приемлемый уровень защиты от поражения электрическим током во многих случаях.

4.7.5. Напряжения в системе TN при повреждении изоляции

Ампер-секундные характеристики устройств защиты от сверхтоков выбираются для защиты от перегрева проводников. Значение тока, обычно, порядка 10 А и более. Малое сопротивление цепи обратного тока (ЦОТ), обусловленное использованием PE- и PEN-проводников, ограничивает значение

напряжения PEN-проводника и способствует быстрому срабатыванию устройства защиты от сверхтока, делая в большинстве случаев серьезное поражение электрическим током маловероятным. В отдельных случаях, когда человек может быть особенно чувствителен к воздействию электрического тока, что может быть обусловлено, например, малым сопротивлением тела (большая или влажная площадь контакта), задача решается применением дополнительной защиты в форме защитно-отключающих устройств. Высокая чувствительность и быстродействие этих устройств снижают вероятность поражения электрическим током до очень низких значений.

В сельских районах высокое значение сопротивления петли «фаза — нуль» в конце протяженных распределительных сетей обусловлено значительным расстоянием между питающим трансформатором и потребителями. В этом случае высокое значение сопротивления петли «фаза — нуль» приводит к низкому значению тока короткого замыкания и к увеличенному времени срабатывания устройства защиты от сверхтока у потребителей. Основная часть сопротивления цепи «фаза — нуль» приходится на «сетевую сторону» распределительной системы. Падение напряжения в PEN-проводнике распределительной системы при повреждении изоляции фазного проводника проявляется в виде потенциала на доступных проводящих частях электрооборудования и всех других проводящих частях установок, связанных с PEN-проводником.

Заметим, что при замыкании «фаза — фаза» или «фаза — PEN» в распределительной сети при системе TN-C-S (рис. 4.9) до момента отключения тока короткого замыкания устройством защиты от сверхтока т.к.з. преодолевает сопротивление PEN-проводника и фазного L-проводника. Сопротивление PEN-проводников протеканию т.к.з. вызывает падение напряжения между заземляющим устройством нейтрали питающего трансформатора и PE-проводником, который присоединен к ОПЧ и СПЧ. Это падение напряжения вызывает напряжение прикосновения между ОПЧ, СПЧ и землей. В США нагрузочный конец PEN-проводника требуется соединять с землей, но сопротивление заземляющего устройства обычно составляет несколько Ом и иногда может быть и выше в зависимости от сопротивления земли.

Сельская сеть системы TN-C-S, выполненная в виде ВЛ, характеризуется сравнительно высоким сопротивлением петли «фаза — нуль», обусловленным относительно большой протяженностью линий. В этой системе повторное заземление PEN-проводника вызывает значительное снижение его потенциала при коротком замыкании фазного проводника (L-проводника) на PEN-проводник. Это показано на упрощенной схеме (рис. 4.10).

PEN-проводники в системе TN заземлены во многих точках системы. В результате этого сопротивление между PEN-проводником и землей обычно невелико. Кроме того, из-за того, что сопротивление PEN-проводника по сравнению с шунтирующими его сопротивлениями заземлителей относительно мало, часть тока к.з., протекающая по PEN-проводнику, значительно превосходит часть тока к.з., протекающего через землю. Следовательно,

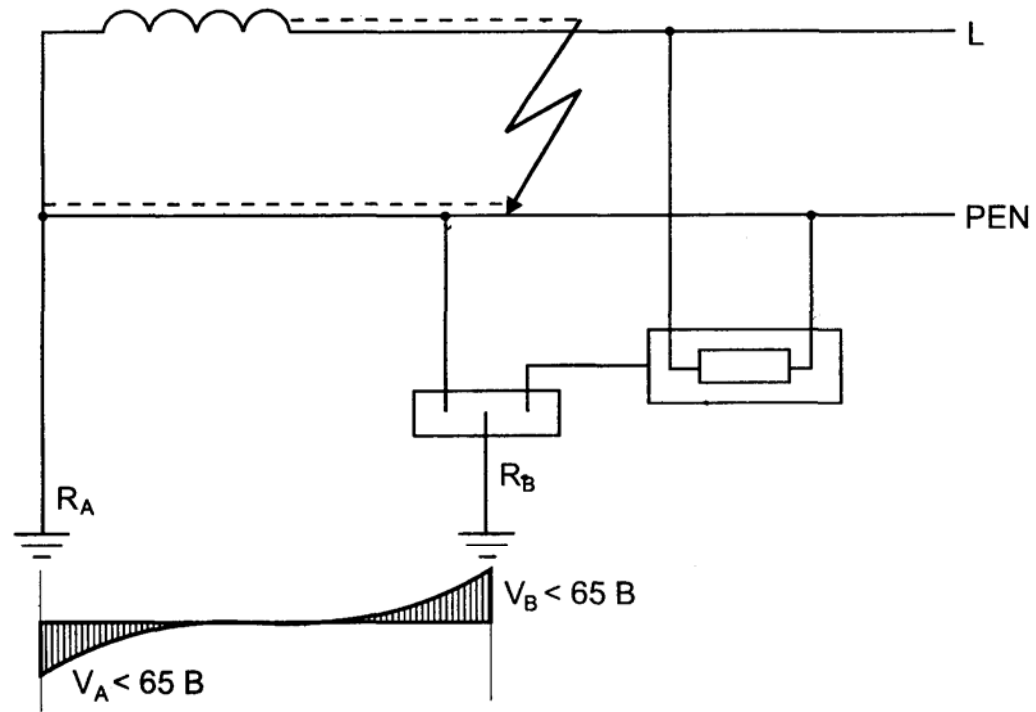


Рис. 4.10. Распределение потенциала в PEN-проводнике при ОКЗ

градиент потенциала земли вдоль трассы линии от питающего трансформатора до места к.з. сравнительно невелик и становится более пологим из-за влияния PEN-проводника.

Потенциал PEN-проводника при к.з. не превышает 100 В при напряжении системы 380/220 В. Распределение напряжения в короткозамкнутой цепи, определяющее напряжение на ОПЧ и СПЧ при о.к.з., зависит от соотношения сопротивлений отдельных ветвей ЦОТ, включающих сопротивления заземляющего устройства и сопротивлений L1 (или L2, или L3) и PEN-проводников).

Если сопротивление заземлителей на каждом конце PEN-проводника были равны между собой, напряжение ОПЧ и СПЧ, соединенных с PE-проводником, не более 50 В, т. е. потенциал заземлителя равен половине падения напряжения в PEN-проводнике.

4.8. Нормативные рекомендации для электроустановок напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью (система TN)

4.8.1. Нейтраль генератора, трансформатора на стороне до 1 кВ должна быть присоединена к заземляющему устройству при помощи специального искусственного заземляющего проводника (PE-проводника). Сечение заземляющего проводника должно быть не менее указанного в табл. 4.8.1.

Использование нулевого рабочего проводника (N-проводника), идущего от нейтрали генератора или трансформатора на щит распределительного устройства, в качестве заземляющего проводника не допускается.

В качестве указанного заземляющего устройства рекомендуется в первую очередь использовать железобетонные фундаменты производственных зданий и сооружений в соответствии с п. 1.5.4 и 5.9.1, если при этом обеспечиваются требования электробезопасности, определяемые ГОСТ Р 50571.3—94 и ГОСТ Р 50571.10—96. В этом случае нейтраль трансформатора следует заземлять путем присоединения к металлической или железобетонной колонне здания или сооружения.

При отсутствии возможности использовать железобетонные фундаменты производственных зданий и сооружений должно быть сооружено искусственное заземляющее устройство в непосредственной близости от генератора или трансформатора. В отдельных случаях, например, для внутрицеховых подстанций, допускается сооружать заземляющее устройство около стены здания.

4.8.2. Все доступные прикосновению открытые проводящие части электроустановок должны быть присоединены к заземленной нейтральной точке источника питания посредством защитных проводников. Если нейтральной точки нет или она недоступна, должен быть заземлен фазный проводник. Запрещается использовать фазный проводник в качестве PEN-проводника.

1. Если существуют другие точки связи с землей, рекомендуется защитные проводники также присоединять к этим точкам (повторное заземление).

2. В больших зданиях, таких как высотные, повторное заземление защитных проводников практически невозможно. В этом случае аналогичную функцию выполняет система уравнивания потенциалов.

3. По той же причине рекомендуется заземление защитных проводников на вводе в здания и помещения.

4.8.3. В стационарных электроустановках функцию защитного и нулевого рабочего провода можно совместить в одном проводнике (PEN) при условии выполнения следующих требований:

— если его сечение не менее 10 мм² по меди или 16 мм² по алюминию и рассматриваемая часть электроустановки не защищена устройствами защитного отключения, реагирующими на дифференциальные токи;

— если, начиная с какой-либо точки установки, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены, запрещается объединять их за этой точкой. В точке разделения необходимо предусмотреть раздельные зажимы или шины нулевого рабочего и нулевого защитного проводников. PEN-проводник, совмещающий функции рабочего и защитного, должен подключаться к зажиму, предназначенному для защитного проводника.

4.8.4. Сторонние проводящие части не могут быть использованы в качестве единственного PEN-проводника.

4.8.5. В цепи PEN-проводника допускается устанавливать выключатели, которые одновременно с отключением PEN-проводника отключают все находящиеся под напряжением проводники.

4.8.6. Допускается использование PEN-проводников осветительных линий для зануления электрооборудования, питающегося по другим линиям, если все указанные линии питаются от одного трансформатора, их проводимость удовлетворяет требованиям настоящей главы и исключена возможность отсоединения PEN-проводников во время работы других линий. В таких случаях не должны применяться выключатели, отключающие PEN-проводники вместе с фазными.

4.8.7. В местах, где неизолированные PE- и PEN-проводники могут образовывать электрические пары или возможно повреждение изоляции фазных проводников в результате искрения между неизолированными PE- или PEN-проводником и открытыми проводящими частями (ОПЧ) или сторонними проводящими частями (СПЧ), например, при прокладке проводов в трубах, коробах, лотках PE- и PEN-проводники должны иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводников.

4.8.8. Не допускается использование PEN-проводников для питания электроприемников однофазного тока. Для питания таких электроприемников в качестве нулевого рабочего проводника (N-проводника) должен быть использован отдельный третий проводник, присоединенный к PEN-проводнику в ответственной коробке, низковольтном комплектном устройстве.

4.8.9. В системах TN могут использоваться:

- устройства защиты от сверхтока;
- устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток.

4.8.10. В системе TN-C не должны применяться устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток.

4.8.11. Когда устройство защиты, реагирующее на дифференциальный ток, применяют для автоматического отключения в системе TN-C-S, PEN-проводник не должен использоваться на стороне нагрузки. Присоединение защитного проводника к PEN-проводнику должно осуществляться на стороне источника питания по отношению к устройству защиты, реагирующему на дифференциальный ток.

4.8.12. Когда устройство защиты, реагирующее на дифференциальный ток, используют для автоматического отключения цепи вне зоны действия основной системы уравнивания потенциалов, открытые проводящие части не должны быть связаны с сетью системы TN, но защитные проводники должны присоединяться к заземлителю, имеющему сопротивление, обеспечивающее срабатывание этого устройства.

Вне зоны действия основной системы уравнивания потенциалов могут использоваться другие защитные меры:

- питание через разделяющий трансформатор;
- применение дополнительной изоляции.

4.8.13. Характеристики устройств защиты и полное сопротивление цепи «фаза — нуль» (в случае, когда сопротивлением в месте замыкания можно пренебречь) должны обеспечивать при замыкании на открытые проводящие части автоматическое отключение питания в пределах нормированного времени. Это требование выполняется при соблюдении следующего условия

$$Z_S I_a \leq U_0,$$

где Z_S — полное сопротивление цепи «фаза — нуль»;

I_a — ток, меньший тока замыкания, вызывающий срабатывание устройства защиты за время, являющееся функцией номинального напряжения U_0 , согласно табл. 4.8.1.

U_0 — номинальное напряжение (действующее значение) между фазой и землей.

Таблица 4.8.1. Предельно допустимые времена отключения для системы TN

U_0 , В	Время отключения, с
120	0,8
230	0,4
400	0,2
600	0,1

Примечание — Для промежуточных значений напряжения берется следующее, более высокое значение номинального напряжения по табл. 4.8.1.

Предельно допустимые времена отключения, указанные в табл. 4.8.1., обеспечивают электробезопасность цепей, питающих передвижное или переносное электрооборудование класса I посредством штепсельных розеток или без них.

4.8.14. Для распределительных цепей время отключения не должно превышать 5 с.

Время отключения, превышающее время, требуемое табл. 4.8.1., но не более 5 с, допускается для распределительной цепи, питающей стационарное электрооборудование, только при условии выполнения одного из следующих требований:

а) полное сопротивление защитного проводника между распределительным щитом и точкой присоединения защитного проводника к основной системе уравнивания потенциалов не превышает

$$\frac{50}{U_0} Z_S, \text{ Ом}$$

или

б) имеется уравнивающая связь распределительного щита с основной системой уравнивания потенциалов.

4.8.15. В качестве PEN-проводника между нейтралью и щитом распределительного устройства следует использовать: при выводе фаз шинами — шину на изоляторах, при выводе фаз кабелем (проводом) — жилу кабеля (провода). Допускается использование в качестве PEN-проводника алюминиевой оболочки кабеля при выводе фаз кабелем с алюминиевой оболочкой и кожу-ха шинпровода при выводе фаз комплектным шинпроводом.

Проводимость PEN-проводника, идущего от нейтрали генератора или трансформатора, должна быть не менее 50% проводимости вывода фаз.

Изоляция PEN-проводников должна быть равноценна изоляции фаз, за исключением тех случаев, когда в качестве PEN-проводников используются алюминиевые оболочки кабелей, оболочки и опорные конструкции шинпровода, а также открытые проводящие части (ОПЧ) и сторонние проводящие части (СПЧ).

4.8.16. Если при использовании устройств защиты от сверхтока сформулированные условия (см. табл. 4.8.1) не выполняются, должно применяться дополнительно уравнивание потенциалов. В качестве альтернативы уравниванию потенциалов для защиты может использоваться устройство защитного отключения, реагирующее на дифференциальный ток.

4.8.17. В случаях замыкания фазного проводника на землю, например в воздушных линиях электропередачи, для того, чтобы потенциал защитного проводника и связанных с ним открытых проводящих частей не превышал