

Электромагнитная совместимость в электротехнических комплексах

К.Т.Н., доцент

Беспалов Александр Владимирович



Заземление

ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление (Технический регламент таможенного союза ТР ТС 010/2011 – «О безопасности машин и оборудования») (Федеральный закон от 22.07.2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»)

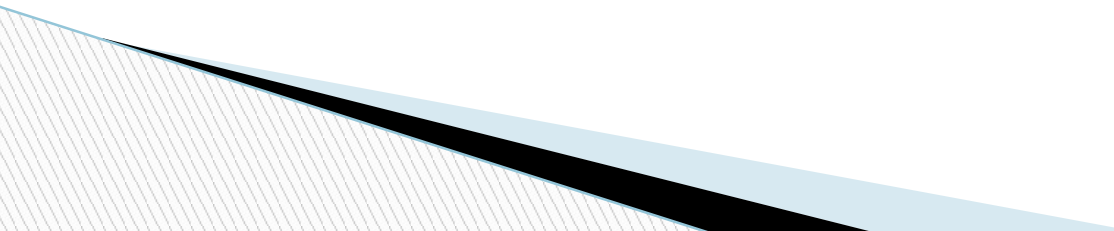
ГОСТ Р 50571.5.54-2013 (МЭК 60364-5-54:2011) Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов

ГОСТ Р 50571.3-2009 (МЭК 60364-4-41:2005) Электроустановки низковольтные. Часть 4-41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током

ГОСТ 30331.1-2013 Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения
И 1.03-08 Инструкция по устройству защитного заземления и уравнивания потенциалов в электроустановках

[СП 76.13330.2016 «СНиП 3.05.06-85 Электротехнические устройства» (Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»)]

Правила устройства электроустановок.
Седьмое издание. Раздел 1 Общие правила
Глава 1.7 Заземление и защитные меры электробезопасности

- Неверное использование терминов «заземление», «заземлитель», «заземляющее устройство» (для ВЛ – «опора»);
 - Путаница в понятиях «режим заземления нейтрали» и «система заземления»;
 - Объединение нулевого рабочего и нулевого защитного проводника за точкой их разъединения по ходу распределения энергии;
 - Последовательное соединение заземляющих контуров электроустановок
 - Увеличение нормативного сопротивления без подтверждения по результатам инженерных изысканий
- 

1.3. Защитное заземление или зануление электроустановок следует выполнять:

- при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока - во всех случаях;
- при номинальном напряжении от 42 В до 380 В переменного тока и от 110 В до 440 В постоянного тока при работах в условиях с повышенной опасностью и особо опасных по ГОСТ 12.1.013-78.

2.1. В электроустановках напряжением от 110 до 750 кВ должно быть выполнено защитное заземление.

3.1. В электроустановках напряжением выше 1000 В в сети с изолированной нейтралью должно быть выполнено защитное заземление, при этом рекомендуется предусматривать устройства автоматического отыскания замыкания на "землю". Защиту от замыканий на "землю" рекомендуется устанавливать с действием на отключение (по всей электрически связанной сети), если это необходимо по условиям безопасности.

4.1. В стационарных электроустановках трехфазного тока в сети с заземленной нейтралью или заземленным выводом однофазного источника питания электроэнергией, а также с заземленной средней точкой в трехпроводных сетях постоянного тока должно быть выполнено зануление.

5.1. В электроустановках переменного тока в сетях с изолированной нейтралью или изолированными выводами однофазного источника питания электроэнергией защитное заземление должно быть выполнено в сочетании с контролем сопротивления изоляции.

20.5 главная заземляющая шина: Шина, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки и предназначенная для электрического присоединения проводников к заземляющему устройству.

20.11 заземление: Выполнение электрического присоединения проводящих частей к локальной земле.

20.13 заземлитель: Проводящая часть или совокупность электрически соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с локальной землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

20.14 заземляющее устройство: Совокупность заземлителя, заземляющих проводников и главной заземляющей шины.

20.15 заземляющий проводник: Защитный проводник, соединяющий заземлитель с главной заземляющей шиной.

20.20 защитное заземление: Заземление, выполняемое с целью обеспечения электрической безопасности.

20.93 функциональное заземление: Заземление, выполняемое по условиям функционирования не в целях электрической безопасности.

20.30 (локальная) земля: Часть Земли, находящаяся в электрическом контакте с заземлителем, электрический потенциал которой не обязательно равен нулю.

20.110 эталонная земля: Часть Земли, проводящая электрический ток и находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземляющего устройства, электрический потенциал которой условно принят равным нулю. Примечание - Понятие "Земля" означает планету со всеми её физическими свойствами.

- 20.12 заземленный линейный проводник (LE):** Линейный проводник, имеющий электрическое присоединение к локальной земле.
- 20.23 защитный проводник (PE):** Проводник, предназначенный для целей электрической безопасности, например, для защиты от поражения электрическим током.
- 20.29 линейный проводник (L):** Проводник, находящийся под напряжением при нормальных условиях и используемый для передачи электрической энергии, но не нейтральный проводник или средний проводник.
- 20.47 полюсный проводник (L):** Линейный проводник, используемый в электрической цепи постоянного тока.
- 20.91 фазный проводник (L):** Линейный проводник, используемый в электрической цепи переменного тока.
- 20.72 средний проводник (M):** Проводник, электрически присоединенный к средней части электрической системы постоянного тока, находящейся под напряжением, и используемый для передачи электрической энергии.
- 20.34 нейтральный проводник (N):** Проводник, электрически присоединенный к нейтрали и используемый для передачи электрической энергии.
- 20.69 совмещенный защитный заземляющий и линейный проводник (PEL-проводник, PEL):** Проводник, выполняющий функции защитного заземляющего и линейного проводников.
- 20.70 совмещенный защитный заземляющий и нейтральный проводник (PEN-проводник, PEN):** Проводник, выполняющий функции защитного заземляющего и нейтрального проводников.
- 20.71 совмещенный защитный заземляющий и средний проводник (PEM-проводник, PEM):** Проводник, выполняющий функции защитного заземляющего и среднего проводников.

20.75 тип заземления системы: Комплексная характеристика системы распределения электроэнергии, устанавливающая наличие или отсутствие заземления частей источника питания, находящихся под напряжением, наличие заземления открытых проводящих частей электроустановки или электрооборудования, наличие и способ выполнения электрического соединения между заземленными частями источника питания, находящимися под напряжением, и указанными открытыми проводящими частями.

Примечание - Термин "тип заземления системы" устанавливает специальные требования ко всем элементам, входящим в состав системы распределения электроэнергии. Для составных частей распределительной электрической сети рассматриваемая характеристика устанавливает следующие требования:

- к источнику питания - наличие или отсутствие заземления его частей, находящихся под напряжением. Если источник питания имеет заземлённую часть, находящуюся под напряжением, то в распределительной электрической сети может быть выполнено дополнительное заземление проводников, которые имеют электрическое соединение с заземлённой частью источника питания, находящейся под напряжением. Если источник питания имеет изолированные от земли части, находящиеся под напряжением, то проводники распределительной электрической сети, как правило, должны быть изолированы от земли или, как исключение, какой-то проводник может быть заземлён через большое полное сопротивление.

- к линии электропередачи - требования к устройству защитных, нейтральных, средних и заземленных линейных проводников.

Для электроустановок или электрооборудования этой характеристикой устанавливают требования к выполнению заземления открытых проводящих частей, а также к наличию или отсутствию электрического соединения последних с заземлённой частью источника питания, находящейся под напряжением.

20.49 проводник: Проводящая часть, предназначенная для проведения электрического тока определенного значения.

20.50 проводник, находящийся под напряжением: Проводник, предназначенный находиться под напряжением при нормальных условиях.

Примечание 1 - К проводникам, *находящимся под напряжением*, относят:

линейный проводник (L), нейтральный проводник (N) средний проводник (M).

не являются проводниками, находящимися под напряжением:

PEN-проводник, PEM-проводник, PEL-проводник и защитный проводник (PE)

Примечание 2 - В нормативных документах наряду с термином "проводник, находящийся под напряжением" применяют термин "токоведущий проводник".

20.77 токопроводящий проводник: Проводник, по которому при нормальных условиях протекает электрический ток.

Примечание - *К токопроводящим проводникам* относят:

линейный проводник (L), нейтральный проводник (N), средний проводник (M),

PEN-проводник, PEM-проводник и PEL-проводник.

Защитный проводник (PE) *не является* токопроводящим проводником.

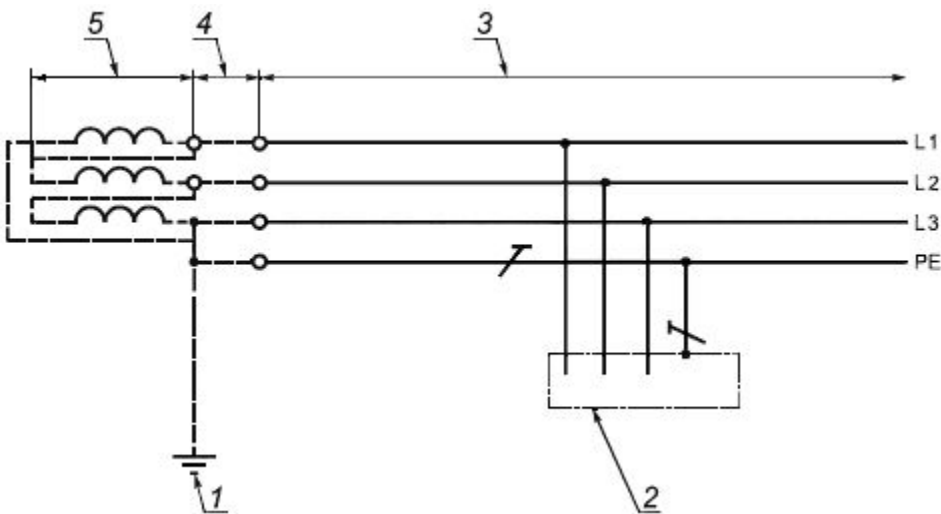
20.90 часть, находящаяся под напряжением: Проводящая часть, предназначенная находиться под напряжением при нормальных условиях, *включая нейтральный проводник и средний проводник*, но, как правило, *не PEN-проводник, PEM-проводник, или PEL-проводник*. Примечание - Данное понятие необязательно подразумевает риск поражения электрическим током.

Примечание - В нормативных документах наряду с термином "часть, находящаяся под напряжением" применяют термин "токоведущая часть".

1.7.2. Электроустановки в отношении мер электробезопасности разделяются на:
электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью;
электроустановки напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью;
электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью;
электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью.

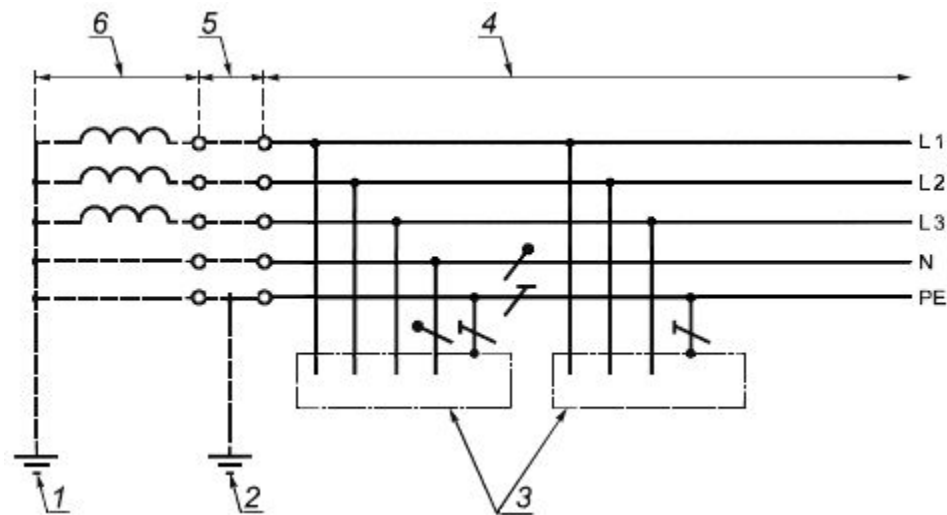
1.7.3. Для электроустановок напряжением до 1 кВ приняты следующие обозначения:
система TN - система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников;
система TN-C - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении;
система TN-S - система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении;
система TN-C-S - система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания;
система IT - система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены;
система TT - система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

Правила устройства электроустановок

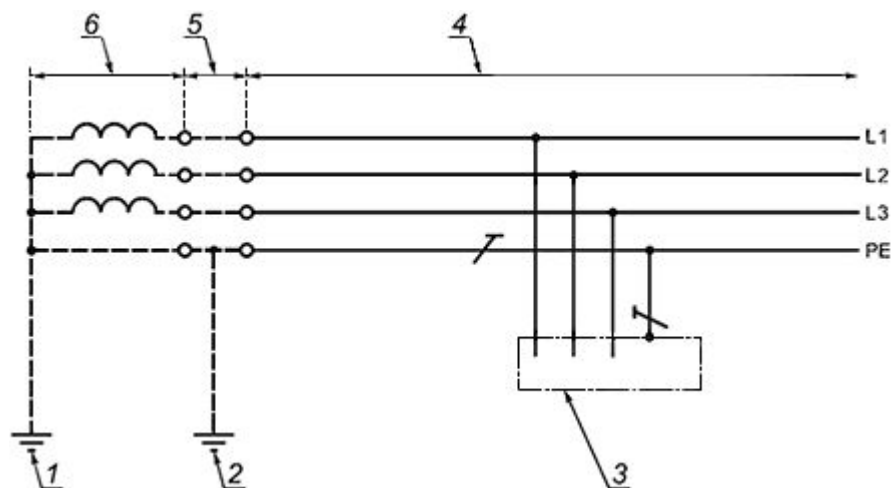


Система TN-S *трехфазная трехпроводная* с разделенными заземленным фазным проводником и защитным проводником во всей системе

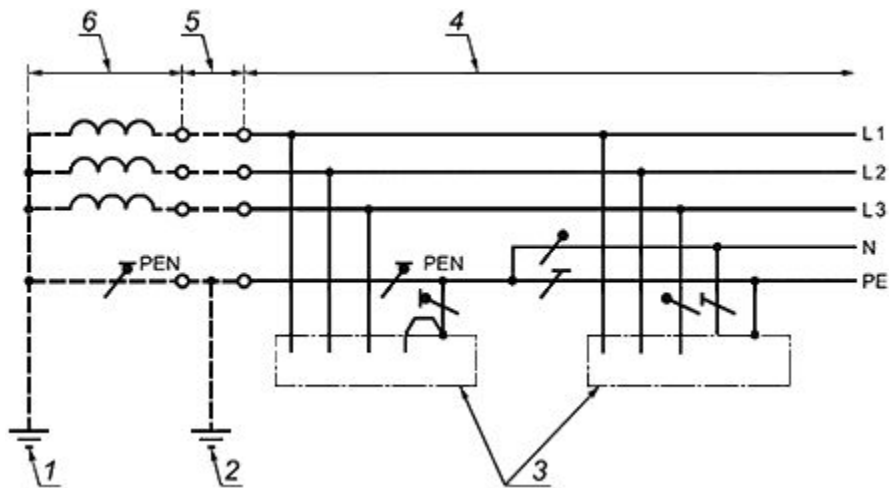
- 1 - заземление источника питания;
- 2 - заземление распределительной электрической сети;
- 3 - открытая проводящая часть;
- 4 - электроустановка;
- 5 - распределительная электрическая сеть (при наличии);
- 6 - источник питания



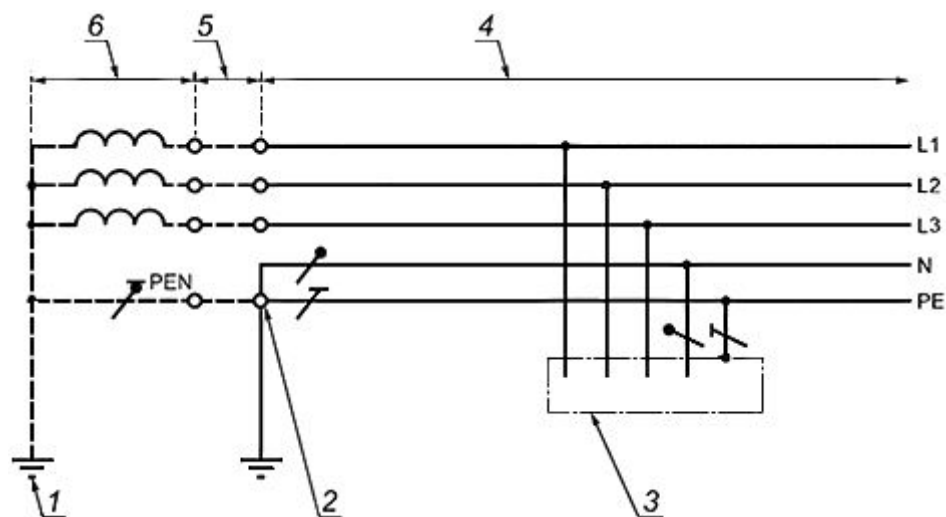
Система TN-S *трехфазная четырехпроводная* с разделенными нейтральным проводником и защитным проводником во всей системе



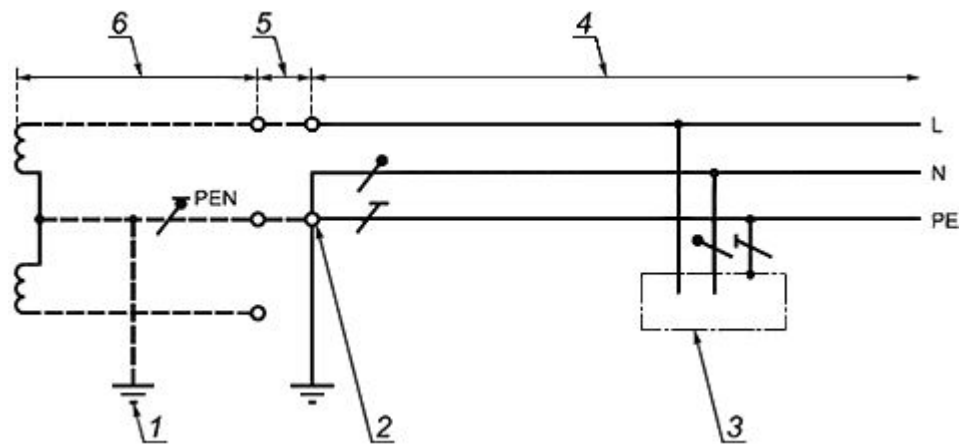
Система TN-S *трёхфазная трёхпроводная* с защитным проводником и без нейтрального проводника во всей системе



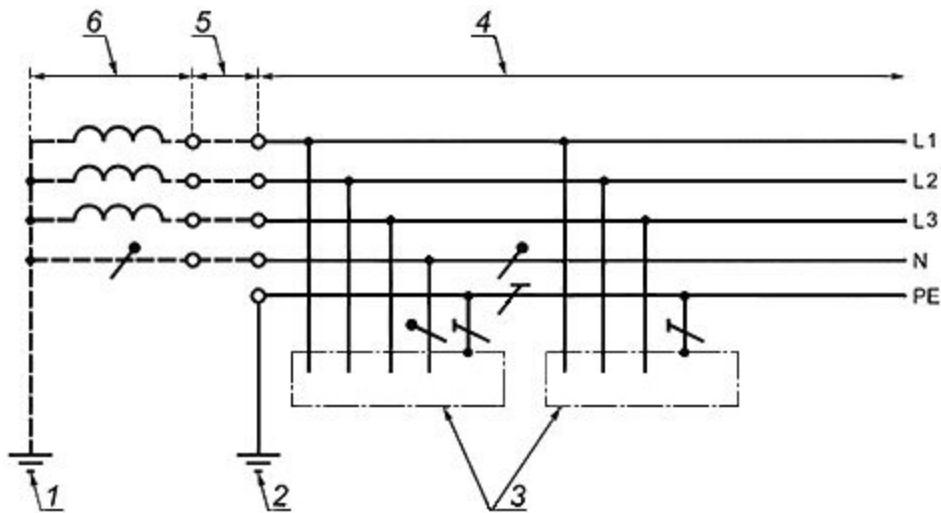
Система TN-C-S трехфазная четырехпроводная, в которой PEN-проводник разделен на защитный проводник PE и нейтральный проводник N где-то в электроустановке



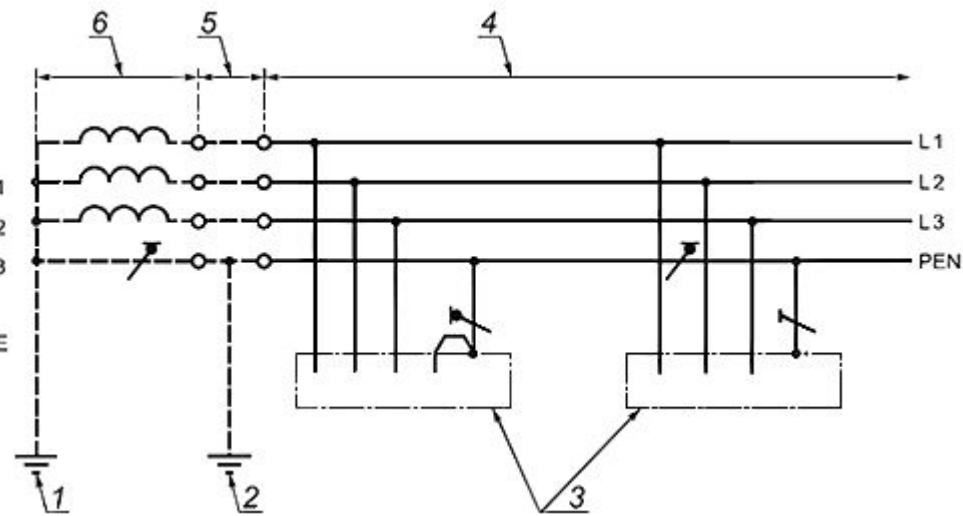
Система TN-C-S трехфазная четырехпроводная, в которой PEN-проводник разделен на защитный проводник PE и нейтральный проводник N на вводе электроустановки



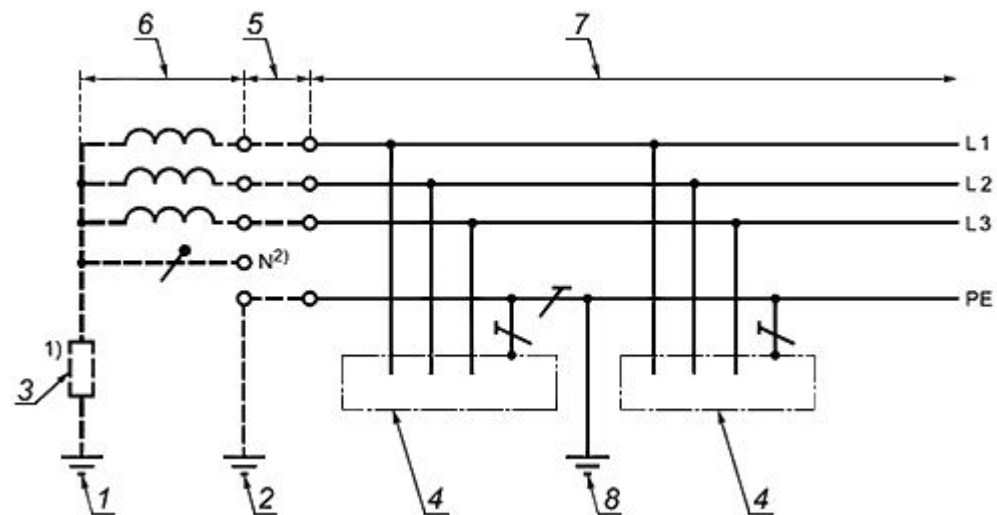
Система TN-C-S однофазная двухпроводная, в которой PEN-проводник разделен на защитный проводник PE и нейтральный проводник N на вводе электроустановки



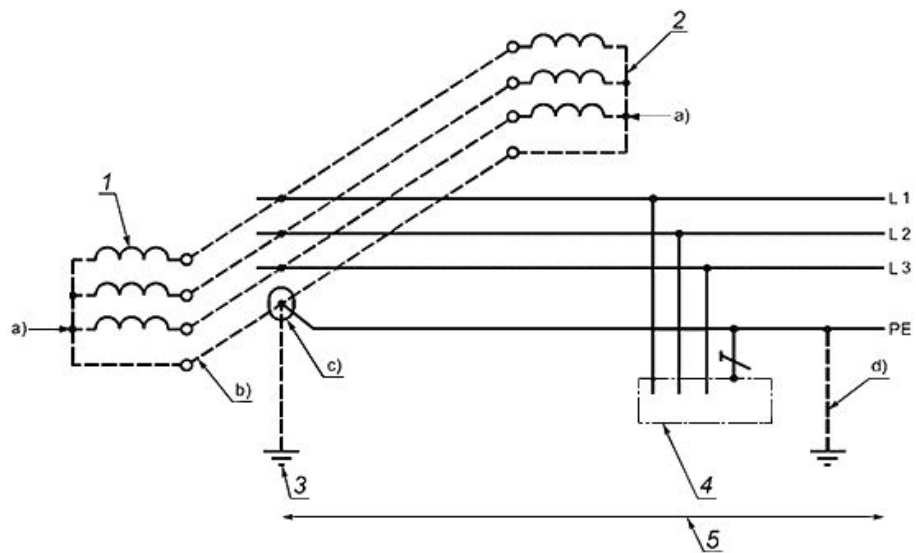
Система ТТ *трехфазная четырехпроводная с заземленным защитным проводником и нейтральным проводником во всей системе*



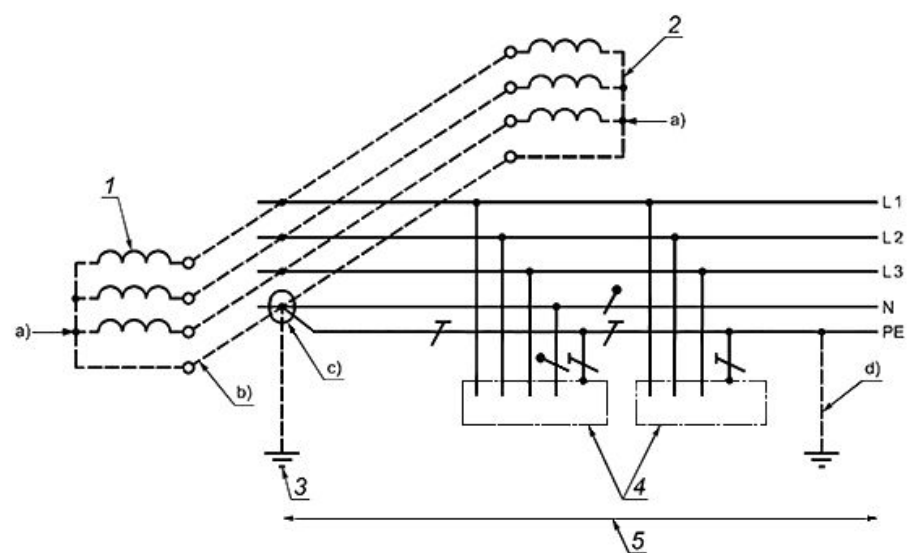
Система TN-C *трехфазная четырехпроводная, в которой функции нейтрального и защитного проводников объединены в одном проводнике во всей системе*



Система IT *трехфазная трехпроводная со всеми открытыми проводящими частями, соединенными защитным проводником и заземленными совместно*



Система *TN-S* с несколькими источниками питания *трехфазная трехпроводная* с защитным проводником и без нейтрального проводника во всей системе для двух- или трехфазной нагрузки



Система *TN-S* с несколькими источниками питания *трехфазная четырехпроводная* с разделенным защитным проводником и нейтральным проводником для электроприемников

1.7.57. Электроустановки напряжением до 1 кВ жилых, общественных и промышленных зданий и наружных установок должны, как правило, получать питание от источника с глухозаземленной нейтралью с применением системы **TN**. Для защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания.

1.7.58. Питание электроустановок напряжением до 1 кВ переменного тока от источника с изолированной нейтралью с применением системы **IT** следует выполнять, как правило, при недопустимости перерыва питания при первом замыкании на землю или на открытые проводящие части, связанные с системой уравнивания потенциалов. В таких электроустановках для защиты при косвенном прикосновении при первом замыкании на землю должно быть выполнено защитное заземление в сочетании с контролем изоляции сети или применены УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА. При двойном замыкании на землю должно быть выполнено автоматическое отключение питания.

1.7.59. Питание электроустановок напряжением до 1 кВ от источника с глухозаземленной нейтралью и с заземлением открытых проводящих частей при помощи заземлителя, не присоединенного к нейтрали (система **TT**), **допускается только в тех случаях, когда условия электробезопасности в системе TN не могут быть обеспечены.** Для защиты при косвенном прикосновении в таких электроустановках должно быть выполнено автоматическое отключение питания с обязательным применением УЗО. При этом должно быть соблюдено условие: $R_a I_a < 50 \text{ В}$, где I_a - ток срабатывания защитного устройства; R_a - суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника, при применении УЗО для защиты нескольких электроприемников - заземляющего проводника наиболее удаленного электроприемника.

ПУЭ

1.7.111. Искусственные заземлители могут быть из черной или оцинкованной стали или медными. Искусственные заземлители не должны иметь окраски.

Материал и наименьшие размеры заземлителей должны соответствовать приведенным в табл. 1.7.4.

Материал: Сталь черная, Сталь оцинкованная, Медь.

ГОСТ Р 50571.5.54-2013/МЭК 60364-5-54:2011 Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов

542.2.1 Типы, материалы и размеры заземляющих электродов должны обеспечивать коррозионную и необходимую механическую прочность на весь срок службы.

Минимальные размеры заземляющих электродов из наиболее распространенных материалов с точки зрения коррозионной и механической стойкости, проложенных в земле и замоноличенных в бетон приведены в таблице 54.1.

Материал и поверхность электрода: Сталь, замоноличенная в бетон (голая, горячего цинкования или нержавеющей), Сталь горячего цинкования, Сталь в медной оболочке, Сталь с гальваническим медным покрытием, Нержавеющая сталь, Медь. Минимальные размеры больше, чем в ПУЭ

Приложение D (справочное) - Заземляющие электроды заглубленные в грунт могут быть выполнены из: стали горячего цинкования, стали в медной оболочке, стали с медным покрытием, нержавеющей стали, голый меди. Соединения между различными металлами не должны быть в контакте с почвой. Не следует применять другие металлы и сплавы.

И 1.03-08 Инструкция по устройству защитного заземления и уравнивания потенциалов в электроустановках

2.2.5. Материалы и размеры заземляющих электродов должны выбираться с учетом защиты от коррозии, соответствующих термических и механических воздействий.

2.2.6. Минимальные размеры заземляющих электродов из наиболее распространенных материалов с точки зрения коррозионной стойкости и механической прочности, проложенных в земле, приведены в табл. 2.

Материалы: Сталь горячего цинкования или нержавеющей, в медной оболочке, с электрохимическим медным покрытием; Медь без покрытия, луженая, оцинкованная. Размеры, как в ГОСТ Р 50571.5.54-2013, параметры покрытий (цинкование, омеднение) отличаются

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

Сечение фазных проводников, мм ²	Наименьшее сечение защитных проводников, мм ²
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

1.7.126. Наименьшие площади поперечного сечения защитных проводников должны соответствовать табл. 1.7.5.

Площади сечений приведены для случая, когда защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. Сечения защитных проводников из других материалов должны быть эквивалентны по проводимости приведенным.

1.7.137. Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника электроустановки, если сечение проводника уравнивания потенциалов при этом не превышает 25 мм² по меди или равноценное ему из других материалов. Применение проводников большего сечения, как правило, не требуется. Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов в любом случае должно быть не менее: медных - 6 мм², алюминиевых - 16 мм², стальных - 50 мм².

1.7.138. Сечение проводников дополнительной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее:

при соединении двух открытых проводящих частей - сечения меньшего из защитных проводников, подключенных к этим частям;

при соединении открытой проводящей части и сторонней проводящей части - половины сечения защитного проводника, подключенного к открытой проводящей части.

Материал	Поверхность	Профиль	Минимальный размер					
			диаметр, мм	площадь поперечного сечения, мм ²	толщина, мм	толщина покрытия/оболочки		
						единичный размер, мкм	средний размер, мкм	
Сталь	Горячего оцинкования ¹ или нержавеющей ^{1,2}	Полоса ³		90	3	63	70	
		Угловой		90	3	63	70	
		Круглые стержни для заглубленных электродов	16			63	70	
		Круглая проволока для поверхностных электродов ⁷	10				50 ⁵	
		Трубный	25		2	47	55	
	В медной оболочке	Круглые стержни для заглубленных электродов ⁷	15			2000		
		С электрохимическим медным покрытием	Круглые стержни для заглубленных электродов	14			90	100
	Медь	Без покрытия ¹	Полоса		50	2		
			Круглый провод для поверхностных электродов ⁷		25 ⁶			
Трос			1,8 для каждой проволоки	25				
Трубный			20		2			
	Луженая	Трос	1,8 для каждой проволоки	25		1	5	
	Оцинкованная	Полоса ⁴		50	2	20	40	

Материал и поверхность электрода	Профиль	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм	Толщина, мм	Масса покрытия, Гр/м	Толщина покрытия/оболочки, мкм
Сталь, замоницированная в бетон (голая, горячего цинкования или нержавеющей)	Круглая проволока	10				
	Лента или полоса		75	3		
Сталь горячего цинкования	Полоса или профилированная полоса/пластина - сплошная пластина - перфорированная пластина		90	3	500	63
	Круглый стержень устанавливают вертикально	16			350	45
	Круглая проволока - устанавливают горизонтально	10			350	45
	Трубный	25		2	350	45
	Скрученный (замоницированный в бетон)		70			
	Перекрестный профиль устанавливают вертикально		(290)	3		
Сталь в медной оболочке	Круглый стержень устанавливают вертикально	(15)				2000
Сталь с гальваническим медным покрытием	Круглый стержень устанавливают вертикально	14				250
	Круглая проволока - устанавливают горизонтально	(8)				70
	Полоса, установленная горизонтально		90	3		70
Нержавеющая сталь	Полоса или профилированная полоса/пластина		90	3		
	Круглый стержень устанавливают вертикально	16				
	Круглая проволока - устанавливают горизонтально	10				
Медь	Трубный	25		2		
	Полоса		50	2		
	Круглая проволока - устанавливают горизонтально		(25) 50			
	Сплошной круглый стержень устанавливают вертикально	(12) 15				
	Многопроволочный провод	1,7 скрутка индивид.	(25) 50			
	Трубный	20	-	2		-
	Сплошная пластина	-	-	(1,5) 2		-
	Перфорированная пластина	-	-	2		-

1.7.101. **Сопrotивление заземляющего устройства**, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более **2, 4 и 8 Ом** соответственно при линейных напряжениях **660, 380 и 220 В** источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений PEN- или PE-проводника ВЛ напряжением до 1 кВ при количестве отходящих линий не менее двух. Сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока, должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

При удельном сопротивлении земли $\rho > 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ допускается увеличивать указанные нормы в $0,01\rho$ раз, но не более десятикратного.

1.7.102. На концах ВЛ или ответвлений от них длиной более 200 м, а также на вводах ВЛ к электроустановкам, в которых в качестве защитной меры при косвенном прикосновении применено автоматическое отключение питания, должны быть выполнены повторные заземления PEN-проводника. При этом в первую очередь следует использовать естественные заземлители, например, подземные части опор, а также заземляющие устройства, предназначенные для грозовых перенапряжений (см. гл. 2.4).

1.7.88. Заземляющие устройства электроустановок напряжением выше 1 кВ в сетях **с эффективно заземленной нейтралью** следует выполнять с соблюдением требований либо к их сопротивлению, либо к напряжению прикосновения, а также с соблюдением требований к конструктивному выполнению и к ограничению напряжения на заземляющем устройстве.

1.7.89. Напряжение на заземляющем устройстве при стекании с него тока замыкания на землю не должно, как правило, превышать **10 кВ**. 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.

1.7.90. Заземляющее устройство, которое выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению, должно иметь в любое время года сопротивление не более **0,5 Ом** с учетом сопротивления естественных и искусственных заземлителей. В целях выравнивания электрического потенциала и обеспечения присоединения электрооборудования к заземлителю на территории, занятой оборудованием, следует прокладывать продольные и поперечные горизонтальные заземлители и объединять их между собой в заземляющую сетку.

1.7.96. В электроустановках напряжением выше 1 кВ сети **с изолированной нейтралью** сопротивление заземляющего устройства при прохождении расчетного тока замыкания на землю в любое время года с учетом сопротивления естественных заземлителей должно быть $R < 250/I$, но не более 10 Ом, где I - расчетный ток замыкания на землю, А.

В качестве расчетного тока принимается:

- 1) в сетях без компенсации емкостных токов - ток замыкания на землю;
- 2) в сетях с компенсацией емкостных токов:

для заземляющих устройств, к которым присоединены компенсирующие аппараты, - ток, равный 125 % номинального тока наиболее мощного из этих аппаратов;

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

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

1.7.104. Сопротивление заземляющего устройства, используемого для защитного заземления открытых проводящих частей, в системе IT должно соответствовать условию: $R < U_{пр}/I$, где R - сопротивление заземляющего устройства, Ом; $U_{пр}$ - напряжение прикосновения, значение которого принимается равным 50 В (см. также 1.7.53); I - полный ток замыкания на землю, А.

Как правило, не требуется принимать значение сопротивления заземляющего устройства менее **4 Ом**. Допускается сопротивление заземляющего устройства до **10 Ом**, если соблюдено приведенное выше условие, а мощность генераторов или трансформаторов не превышает 100 кВА, в том числе суммарная мощность генераторов или трансформаторов, работающих параллельно.

СТО 56947007-29.130.15.114-2012 СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ ОАО «ФСК ЕЭС»
 РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ
 ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-750 кВ

Вид электроустановки	Характеристика заземляемого объекта	Характеристика заземляющего устройства	Сопротивление, Ом
1. Электроустановки напряжением выше 1 кВ, кроме ВЛ	Электроустановка сети с эффективно заземленной нейтралью	Искусственный заземлитель с подсоединенными естественными заземлителями	0,5
	Электроустановка сети с изолированной нейтралью при использовании заземляющего устройства только для установки выше 1 кВ	Искусственный заземлитель вместе с подсоединенными естественными заземлителями	250/I , но не более 10
	Электроустановка сети с изолированной нейтралью при использовании заземляющего устройства для электроустановки до 1 кВ	Искусственный заземлитель с подсоединенными естественными заземлителями	125/I , при этом должны быть выполнены требования к заземлению установки до 1 кВ
	Подстанция с высшим напряжением 20-35 кВ при установке молниеотвода на трансформаторном портале	Заземлитель подстанции	4, без учета заземлителей, расположенных вне контура заземления ОРУ
	Отдельно стоящий молниеотвод	Обособленный заземлитель	80

Вид электроустановки	Характеристика заземляемого объекта	Характеристика заземляющего устройства	Сопротивление, Ом	
2. Электроустановки напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, кроме ВЛ	Электроустановка с глухозаземленными нейтральями генераторов или трансформаторов или выводами источников однофазного тока	Искусственный заземлитель с подключенными естественными заземлителями и учетом использования заземлителей повторных заземлений нулевого провода ВЛ до 1 кВ при количестве отходящих линий не менее двух при напряжении источника, В:		
		трехфазный/однофазный		
		660/380	2	
		380/220	4	
		220/127	8	
		Заземлитель, расположенный в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора, или вывода источника однофазного тока при напряжении источника, В:	трехфазный/однофазный	
			660/380	15
380/220	30			
220/127	60			

Вид электроустановки	Характеристика заземляемого объекта	Характеристика заземляющего устройства	Сопротивление, Ом
3. ВЛ напряжением выше 1 кВ	Опоры, имеющие грозозащитный трос или другие устройства грозозащиты, железобетонные и металлические опоры ВЛ 35 кВ и такие же опоры ВЛ 3-20 кВ в населенной местности, а также заземлители электрооборудования, установленного на опорах ВЛ 110 кВ и выше	Заземлитель опоры при удельном эквивалентном сопротивлении, Ом·м:	
		до 100;	10
		более 100 до 500;	15
		более 500 до 1000;	20
		более 1000 до 5000;	30
		более 5000	$6 \cdot 10^{-3} \rho$
	Электрооборудование, установленное на опорах ВЛ 3-35 кВ	Заземлитель опоры	250/l , но не более 10
	Железобетонные и металлические опоры ВЛ 3-20 кВ в ненаселенной местности	Заземлитель опоры при удельном сопротивлении грунта , Ом/м:	
		до 100;	30
		более 100	0,3ρ
	Трубчатые разрядники и защитные промежутки ВЛ 3-220 кВ	Заземлитель разрядника или защитного промежутка при удельном сопротивлении грунта , Ом·м:	
		не выше 1000;	10
		более 1000	15
	Разрядники на подходах ВЛ к подстанциям с вращающимися машинами	Заземлитель разрядника	5

Вид электроустановки	Характеристика заземляемого объекта	Характеристика заземляющего устройства	Сопротивление, Ом
4. ВЛ напряжением до 1 кВ	Опора ВЛ с устройством грозозащиты	Заземлитель опоры для грозозащиты	30
	Опоры с повторными заземлителями нулевого рабочего провода	Общее сопротивление заземления всех повторных заземлений при напряжении источника, В:	
		трехфазный/однофазный	
		660/380	5
		380/220	10
		220/127	20
		Заземлитель каждого из повторных заземлений при напряжении источника, В:	
		трехфазный/однофазный	
		660/380	15
		380/220	30
		220/127	60

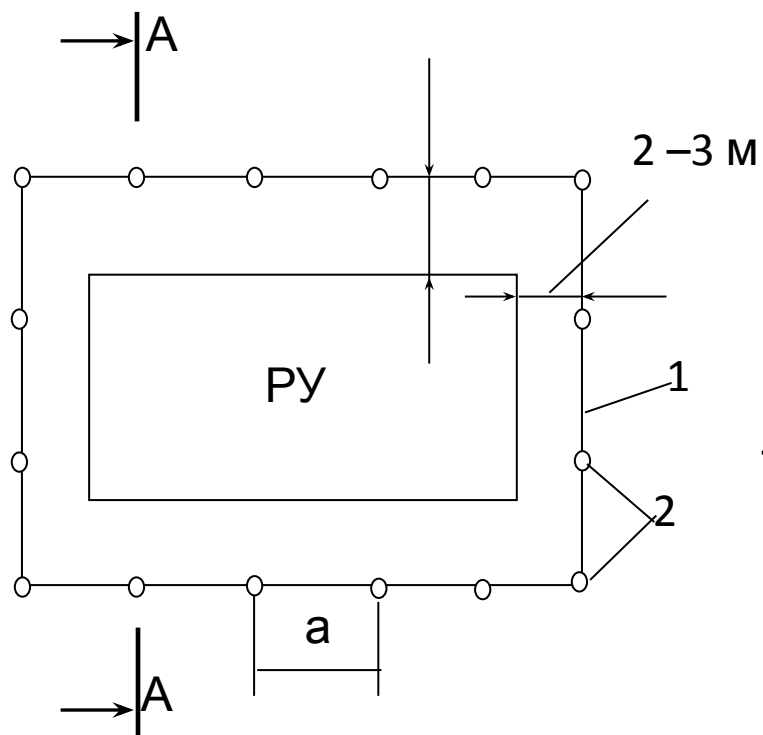


Рис. Контурный заземлитель.
 1 – стальные соединительные полосы;
 2 – стальные трубы.

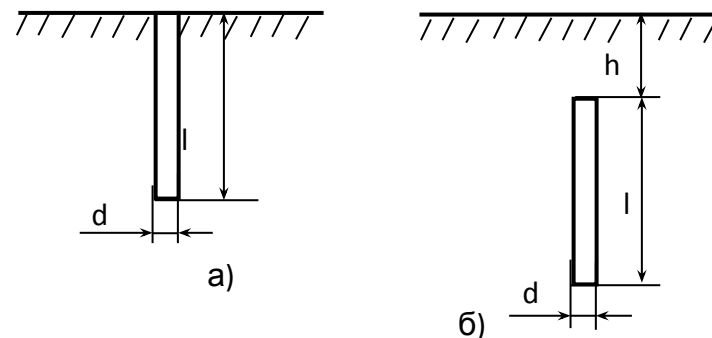
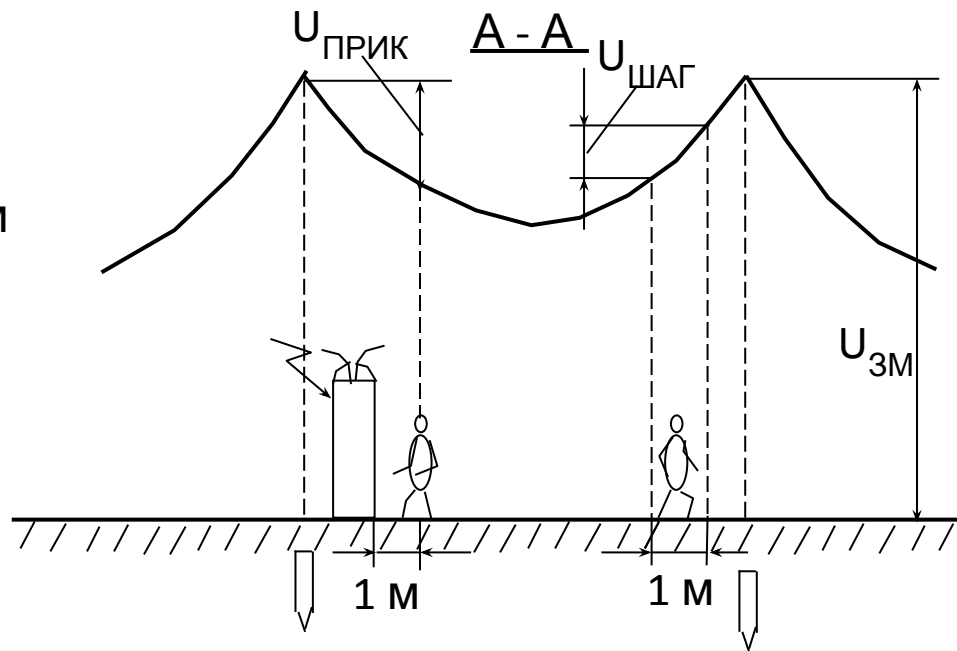
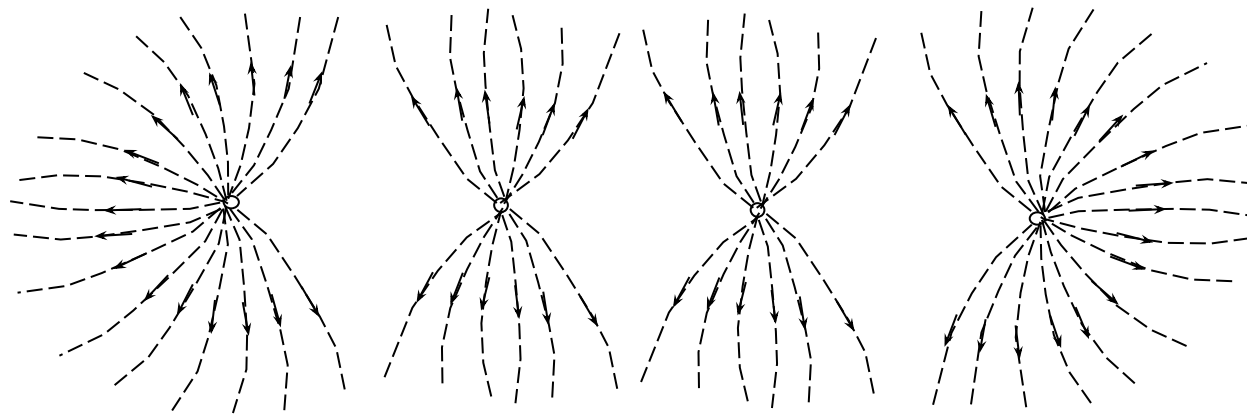


Рис. Одиночные вертикальные заземлители с расположением верхнего конца у поверхности земли (а) и ниже уровня земли (б)



$$r_{3M} = \frac{r_{\text{эд}}}{K_{\text{и,эд}} n}$$

, где $K_{\text{и,эд}}$ – коэффициент использования электрода.
 $r_{\text{эд}}$ – сопротивление электрода
 n – число параллельно включенных электродов

Коэффициенты использования вертикальных электродов $K_{\text{и}}$ при расположении их в ряд

Число электродов, шт.	Отношение a/l		
	1	2	3
2	0,84	0,9	0,93
3	0,76	0,85	0,9
5	0,67	0,79	0,85
10	0,56	0,72	0,79
15	0,51	0,66	0,76
20	0,47	0,65	0,74

Таблица 12.1. Удельное сопротивление грунтов

Наименование грунта	Удельное сопротивление ρ , Ом • м
Глина (слой 7-10 м, далее скала, гравий)	70
Глина каменистая(слой 1-3 м, далее гравий)	100
Земля садовая	50
Известняк	2000
Лёсс	250
Мергель	2000
Песок	500
Песок крупнозернистый с валунами	1000
Скала	4000
Суглинок	100
Супесок	300
Торф	20
Чернозем	30
Вода:	
грунтовая	50
морская	3
прудовая	50
речная	100

Сопротивление вертикального электрода **из круглой стали или труб**, находящегося в двухслойной земле (или в однородной, но с учетом промерзания или высыхания верхнего слоя)

$$r_B = \frac{0,366 \left(\ln \frac{2l_B}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t_1 + l_B}{4t_1 - l_B} \right)}{\Delta l_1 / \rho_1 + \Delta l_2 / \rho_2},$$

Где ρ_1, ρ_2 - удельные сопротивления соответственно верхнего и нижнего слоев земли, Ом·м;
 $\Delta l_1, \Delta l_2$ - части электродов, находящиеся в верхнем и нижнем слоях земли, м;
 l_B - длина электрода, м;
 d - внешний диаметр электродов, м;
 t_1 - глубина заложения, равная расстоянию от поверхности земли до середины электрода, м.

При применении **уголка** для вертикальных электродов в качестве диаметра подставляется эквивалентный диаметр уголка

$$d_{y.э} = 0,95b,$$

где b - ширина сторон уголка.

$$R_{эв} = \frac{0,366\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + l}{4t - l} \right)$$

Ориентировочное число вертикальных заземлителей n при предварительно принятом коэффициенте использования $K_{\text{И}}$ и необходимом суммарном сопротивлении $R_{\text{В}}$ из вертикальных электродов:

$$n = \frac{r_{\text{В}}}{K_{\text{И}} R_{\text{В}}}.$$

Сопротивление растеканию горизонтального полосового электрода определяется по формуле

$$r_{\Gamma} = \frac{0,366\rho}{r} \ln \frac{2l^2}{bt},$$

где l - длина полосы, м; b - ширина полосы, м; t - глубина заложения, м.

Сопротивление горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные (в контуре)

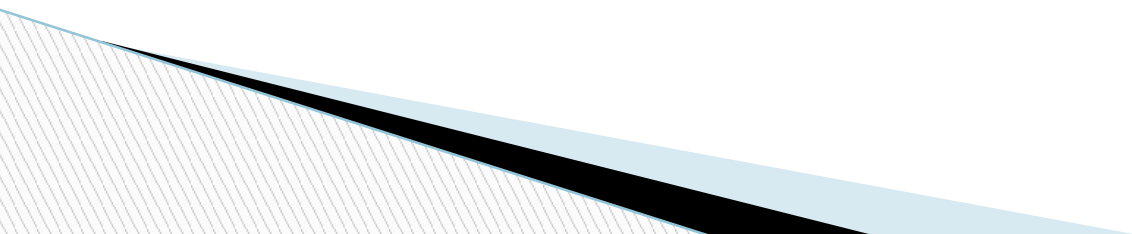
$$R_{\Gamma} = r_{\Gamma} / \eta_{\Gamma}$$

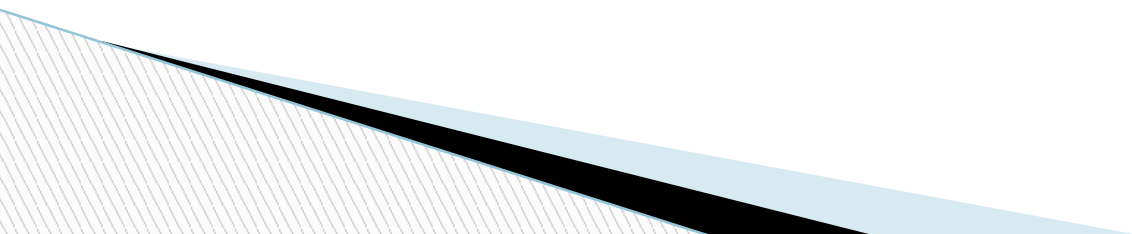
где η_{Γ} - коэффициент использования горизонтальных заземлителей, который определяется справочными данными или интерполированием табличных данных.

В частности, можно использовать $\eta_{\Gamma} = (1,1..1,2)K_{\text{И}}$

Сопротивление заземлителя

$$R_{\text{З}} = \frac{R_{\text{В}} R_{\Gamma}}{R_{\text{В}} + R_{\Gamma}}.$$







1.7.109. В качестве естественных заземлителей могут быть использованы:

1) металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей, в том числе железобетонные фундаменты зданий и сооружений, имеющие защитные гидроизоляционные покрытия в неагрессивных, слабоагрессивных и среднеагрессивных средах;

2) металлические трубы водопровода, проложенные в земле;

3) обсадные трубы буровых скважин;

4) металлические шпунты гидротехнических сооружений, водоводы, закладные части затворов и т. п.;

5) рельсовые пути магистральных неэлектрифицированных железных дорог и подъездные пути при наличии преднамеренного устройства перемычек между рельсами;

6) другие находящиеся в земле металлические конструкции и сооружения;

7) металлические оболочки бронированных кабелей, проложенных в земле. Оболочки кабелей могут служить единственными заземлителями при количестве кабелей не менее двух. Алюминиевые оболочки кабелей использовать в качестве заземлителей не допускается.

1.7.110. **Не допускается** использовать в качестве заземлителей трубопроводы горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей и трубопроводов канализации и центрального отопления. Указанные ограничения не исключают необходимости присоединения таких трубопроводов к заземляющему устройству с целью уравнивания потенциалов в соответствии с 1.7.82. Не следует использовать в качестве заземлителей железобетонные конструкции зданий и сооружений с предварительно напряженной арматурой, однако это ограничение не распространяется на опоры ВЛ и опорные конструкции ОРУ. Возможность использования естественных заземлителей по условию плотности протекающих по ним токов, необходимость сварки арматурных стержней железобетонных фундаментов и конструкций, приварки анкерных болтов стальных колонн к арматурным стержням железобетонных фундаментов, а также возможность использования фундаментов в сильноагрессивных средах должны быть определены расчетом.

1.7.119. **Главная заземляющая шина** может быть выполнена внутри вводного устройства электроустановки напряжением до 1 кВ или отдельно от него. Внутри вводного устройства в качестве главной заземляющей шины следует использовать шину РЕ. При отдельной установке главная заземляющая шина должна быть расположена в доступном, удобном для обслуживания месте вблизи вводного устройства.

Сечение отдельно установленной главной заземляющей шины должно быть не менее сечения РЕ (PEN)-проводника питающей линии.

Главная заземляющая шина должна быть, как правило, медной. Допускается применение главной заземляющей шины из стали. Применение алюминиевых шин не допускается.

В конструкции шины должна быть предусмотрена возможность индивидуального отсоединения присоединенных к ней проводников. Отсоединение должно быть возможно только с использованием инструмента.

В местах, доступных только квалифицированному персоналу (например, щитовых помещениях жилых домов), главную заземляющую шину следует устанавливать открыто. В местах, доступных посторонним лицам (например, подъездах или подвалах домов), она должна иметь защитную оболочку - шкаф или ящик с запирающейся на ключ дверцей. На дверце или на стене над шиной должен быть нанесен знак

1.7.121. В качестве РЕ-проводников в электроустановках напряжением до 1 кВ могут использоваться:

1) специально предусмотренные проводники: жилы многожильных кабелей; изолированные или неизолированные провода в общей оболочке с фазными проводами; стационарно проложенные изолированные или неизолированные проводники;

2) открытые проводящие части электроустановок: алюминиевые оболочки кабелей;

стальные трубы электропроводок; металлические оболочки и опорные конструкции шинпроводов и комплектных устройств заводского изготовления. Металлические короба и лотки электропроводок можно использовать в качестве защитных проводников при условии, что конструкцией коробов и лотков предусмотрено такое использование, о чем имеется указание в документации изготовителя, а их расположение исключает возможность механического повреждения;

3) некоторые сторонние проводящие части: металлические строительные конструкции зданий и сооружений (фермы, колонны и т. п.); арматура железобетонных строительных конструкций зданий при условии выполнения требований 1.7.122; металлические конструкции производственного назначения (подкрановые рельсы, галереи, площадки, шахты лифтов, подъемников, элеваторов, обрамления каналов и т.п.).

Сторонние проводящие части могут быть использованы в качестве РЕ-проводников, если они, кроме того, одновременно отвечают следующим требованиям:

1) непрерывность электрической цепи обеспечивается либо их конструкцией, либо соответствующими соединениями, защищенными от механических, химических и других повреждений;

2) их демонтаж невозможен, если не предусмотрены меры по сохранению непрерывности цепи и ее проводимости.

1.7.123. Не допускается использовать в качестве РЕ-проводников:

металлические оболочки изоляционных трубок и трубчатых проводов, несущие тросы при тросовой электропроводке, металлорукава, а также свинцовые оболочки проводов и кабелей;

трубопроводы газоснабжения и другие трубопроводы горючих и взрывоопасных веществ и смесей, трубы канализации и центрального отопления;

водопроводные трубы при наличии в них изолирующих вставок.

1.7.131. В многофазных цепях в системе TN для стационарно проложенных кабелей, жилы которых имеют площадь поперечного сечения не менее 10 мм^2 по меди или 16 мм^2 по алюминию, функции нулевого защитного (PE) и нулевого рабочего (N) проводников могут быть совмещены в одном проводнике (PEN-проводник).

1.7.132. Не допускается совмещение функций нулевого защитного и нулевого рабочего проводников в цепях однофазного и постоянного тока. В качестве нулевого защитного проводника в таких цепях должен быть предусмотрен отдельный третий проводник. Это требование не распространяется на ответвления от ВЛ напряжением до 1 кВ к однофазным потребителям электроэнергии.

1.7.133. Не допускается использование сторонних проводящих частей в качестве единственного PEN-проводника. Это требование не исключает использования открытых и сторонних проводящих частей в качестве дополнительного PEN-проводника при присоединении их к системе уравнивания потенциалов.

