

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Анализ новых требований к электрическим системам TN и TT переменного тока с несколькими источниками питания

Харечко Ю. В., канд. техн. наук

Проанализированы новые требования ГОСТ Р 50571.1–2009 к типам заземления системы TN и TT для электрических систем переменного тока с несколькими источниками питания.

Ключевые слова: тип заземления системы, система распределения электроэнергии, низковольтная электрическая система, низковольтная электрическая установка, переменный ток.

Новые национальные требования к типам заземления системы TN-S, TN-C-S, TN-C, TT и IT изложены в ГОСТ Р 50571.1 [1], который разработан на основе стандарта МЭК 60364-1 “Низковольтные электрические установки. Часть 1. Основополагающие принципы, оценка основных характеристик, определения” [2] и введен в действие с 1 июля 2010 г. В указанных стандартах приведены требования к типам заземления системы для низковольтных электрических систем переменного тока с одним источником питания [3] и электрических систем постоянного тока [4]. Причем в национальном стандарте в отличие от стандарта МЭК 60364-1 даны определения исходных понятий “система распределения электроэнергии” и “тип заземления системы” [5]. Это позволило существенно улучшить его требования, устранив неопределенность требований первоисточника. В п. 312.2.1.2 “Системы с несколькими источниками питания” международных и национальных стандартов приведены также требования к типам заземления системы TN для низковольтных электрических систем переменного тока, имеющих несколько источников питания.

Системы TN с несколькими источниками питания

В п. 312.2.1.2 стандарта МЭК 60364-1 и ГОСТ Р 50571.1 указано, что “Система с несколькими источниками питания показана для случая использования **системы TN** с единственной целью обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Система с несколькими источниками питания не показана

для систем IT и TT, потому что эти системы обычно совместимы в отношении ЭМС.

При неправильном схемном решении электроустановки, являющейся частью **системы TN** с несколькими источниками питания, часть рабочего тока может протекать по непредназначенным путям. Эти токи могут вызвать:

- пожар;
- коррозию;
- электромагнитные помехи” (здесь и далее выделено автором).

В данных пояснениях говорится о словосочетании “**система TN**” в единственном числе, но в стандарте МЭК 60364-1 и ГОСТ Р 50571.1 установлены требования к трем системам TN: TN-S, TN-C-S и TN-C. Поэтому данный термин следует употреблять во множественном числе: “**системы TN**”.

В стандарте МЭК 60364-1 и ГОСТ Р 50571.1 приведены иллюстрации двух электрических систем с несколькими источниками питания. На рис. 31D¹ обоих стандартов (см. рис. 1 статьи) представлена система, в которой небольшая часть рабочих токов протекает по непредназначенным путям, а на рис. 31E стандартов (рис. 2) показана система, которую можно применять в промышленных электроустановках, если в них используют двух-

¹ На рисунках использованы следующие графические обозначения проводников: / — защитный проводник; / — нейтральный проводник; / — PEN-проводник. В ГОСТ Р 50571.1 фазные проводники имеют неправильные обозначения — L₁, L₂, L₃. В отличие от стандарта МЭК 60364-1 в названии каждого рисунка ГОСТ Р 50571.1 указано число фаз и токопроводящих проводников (набрано курсивом).

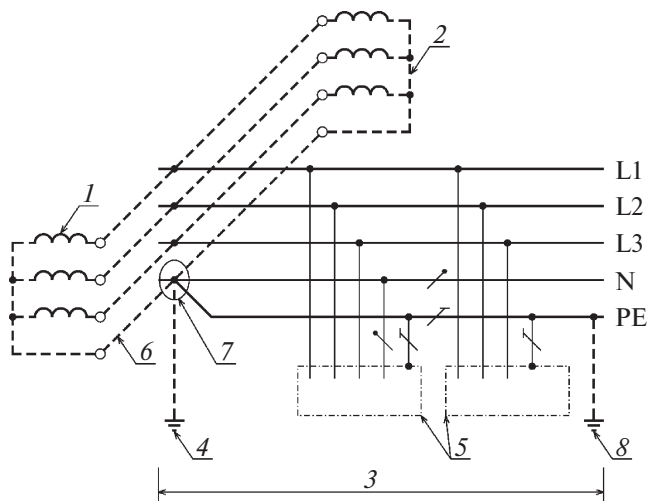


Рис. 1 (31D). Система TN-C-S с несколькими источниками питания *трехфазная четырехпроводная* с разделенными защитным проводником и нейтральным проводником для электроприемников:

1 — источник питания 1; 2 — источник питания 2; 3 — электроустановка; 4 — заземление источника питания; 5 — открытые проводящие части; 6 — PEN-проводник, соединяющий между собой нейтрали источников питания; 7 — точка присоединения к PEN-проводнику защитного проводника (PE) и нейтрального проводника (N) электроустановки; 8 — дополнительное заземление защитного проводника в электроустановке

фазные и трехфазные электроприемники, подключаемые только к фазным проводникам и не требующие для своего нормального оперирования наличия нейтральных проводников.

В названиях рис. 31D и 31E рассматриваемых стандартов допущены ошибки, которые следует исправить. Каждая из представленных на этих рисунках электрических систем состоит из двух элементов — источника питания, образованного двумя параллельно включенными генераторами или трансформаторами, и низковольтной электроустановки. PEN-проводники, соединяющие нейтрали источников питания, являются неотъемлемыми частями последних. Открытые проводящие части электроустановки соединены с заземленной токоведущей частью источников питания посредством защитных проводников. Поэтому можно утверждать, что на обоих рисунках представлены системы распределения электроэнергии, имеющие тип заземления системы TN-S, а не TN-C-S и тем более не TN.

Действительно, система распределения электроэнергии на рис. 1 имела бы тип заземления системы TN-C-S в том случае, если бы в точке 7 к PEN-проводнику источников питания был присоединен PEN-проводник низковольтной электроустановки, ис-

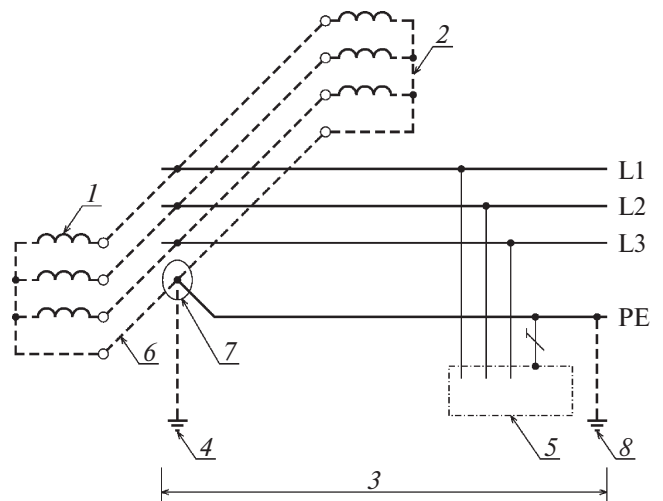


Рис. 2 (31E). Система TN с несколькими источниками питания *трехфазная трехпроводная* с защитным проводником и без нейтрального проводника во всей системе для двух- или трехфазной нагрузки:

1 — источник питания 1; 2 — источник питания 2; 3 — электроустановка; 4 — заземление источника питания; 5 — открытая проводящая часть; 6 — PEN-проводник, соединяющий между собой нейтрали источников питания; 7 — точка присоединения к PEN-проводнику защитного проводника (PE) электроустановки; 8 — дополнительное заземление защитного проводника в электроустановке

пользуемый в ее головной части. В остальной части электроустановки применялись бы защитные и нейтральные проводники.

Понятие “системы TN” обобщенно характеризует три системы распределения электроэнергии, имеющие типы заземления системы TN-S, TN-C-S и TN-C. Поэтому его можно употреблять только во множественном числе. Более того, **систему TN** нельзя выполнить, поскольку в ее обозначении отсутствует ключевая информация о проводнике, с помощью которого открытые проводящие части низковольтной электроустановки соединяют с заземленной токоведущей частью источника питания (т. е. с точкой 7) [5]. На рис. 2 показано присоединение открытой проводящей части к источникам питания с помощью защитного проводника. Поэтому представленная здесь электрическая система также соответствует типу заземления системы TN-S.

Пояснения к рассматриваемым рис. 31D и 31E содержат общие правила проектирования электроустановок, входящих в состав электрических систем TN с несколькими источниками питания. Эти правила запрещают проводить индивидуальное заземление нейтрали трансформатора или генератора, имеющего соединенные звездой обмотки. Нейтрали таких источников питания должны быть соединены между собой изолированным про-

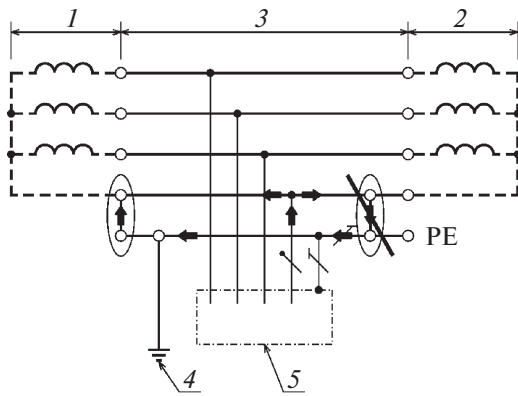


Рис. 3 (44.R7A). Система TN с несколькими источниками питания с неприемлемым многократным соединением между PEN-проводником и землей:

1 — источник питания 1; 2 — источник питания 2; 3 — электроустановка; 4 — заземление источника питания; 5 — открытая проводящая часть

водником, который выполняет функции PEN-проводника. Он может быть заземлен только в одной точке, в которой к нему присоединяют защитный (PE) и нейтральный (N) проводники. Причем эту точку следует размещать внутри главного распределительного устройства низковольтной электроустановки. К PEN-проводнику, соединяющему нейтрали нескольких источников питания, запрещено подключать электроприемники. В низковольтной электроустановке может быть выполнено дополнительное заземление защитного проводника. Любое расширение электрической системы с несколькими источниками питания следует проводить таким образом, чтобы было обеспечено последующее надежное функционирование защитных мер.

П. 444.4.6 “Питание от нескольких источников” стандарта МЭК 60364-4-44 “... Часть 4-44. Защита для безопасности. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных возмущений” [6] содержит более подробные разъяснения негативных последствий, возникающих при выполнении индивидуальных заземлений нейтралей источников питания, функционирующих параллельно. Электрические токи в нейтральных проводниках могут протекать в обратном направлении по отношению к соответствующей нейтрали источника питания, и (как показано на рис. 44.R7A² международного стандарта — см. рис. 3) не только по нейтральным, но и

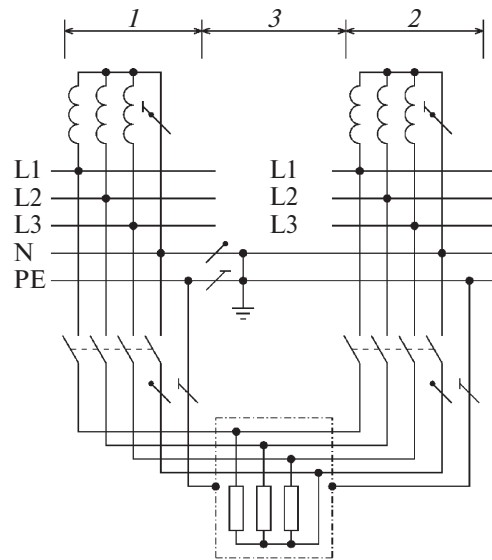


Рис. 4 (44.R9A). Подключение к альтернативному трехфазному источнику питания посредством четырехполюсного выключателя:

1 — источник питания 1; 2 — источник питания 2; 3 — электроприемник

по защитным проводникам. Поэтому сумма составляющих токов, протекающих в электроустановке, не будет равна нулю. В электроустановке образуется паразитное электромагнитное поле, аналогичное электромагнитному полю, создаваемому одножильным кабелем.

Требования, изложенные в п. 444.4.7 “Переключение питания” стандарта МЭК 60364-4-44, предписывают выполнять в системах TN переключение с одного источника питания на другой посредством коммутационных устройств, одновременно переключающих линейные и нейтральные проводники, если последние имеются в низковольтной электроустановке. Такое переключение, показанное на рис. 44.R9A международного стандарта (см. рис. 4), предотвращает возникновение электромагнитных полей, создаваемых блуждающими токами в главной системе питания низковольтной электроустановки.

При выполнении подключения к альтернативному трехфазному источнику питания с помощью неподходящего трехполюсного выключателя (как показано на рис. 44.R9B стандарта МЭК 60364-4-44 — см. рис. 5) по нейтральным проводникам протекают нежелательные уравнительные токи, создающие электромагнитные поля, негативно воздействующие на некоторые виды электрооборудования.

² На рис. 44.R7A стандарта МЭК 60364-4-44 представлена система TN-S, поскольку открытая проводящая часть низковольтной электроустановки соединена с заземленной токоведущей частью источников питания посредством защитного проводника.

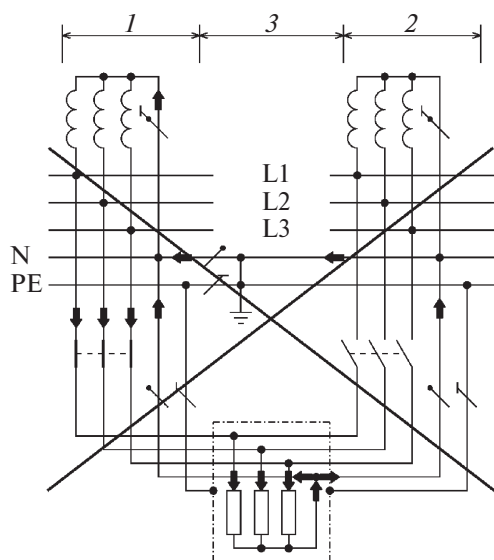


Рис. 5 (44.R9B). Протекание токов в нейтральных проводниках при подключении к альтернативному трехфазному источнику питания посредством неподходящего трехполюсного выключателя:

1 — источник питания 1; 2 — источник питания 2; 3 — электроприемник

Система ТТ с несколькими источниками питания

Требования, изложенные в п. 444.4.6.2 “Питание от нескольких источников в системе ТТ” стандарта МЭК 60364-4-44, дополняют требования стандарта МЭК 60364-1 к электрическим системам, имеющим несколько источников питания. В стандарте МЭК 60364-4-44 указано, что в системе ТТ в случае питания электроустановки от нескольких источников питания исходя из соображений электромагнитной совместимости рекомендуется, чтобы нейтральные точки всех источников питания были соединены между собой и присоединены к земле только в одной точке, расположенной в центре между источниками питания. Пример системы ТТ, имеющей несколько источников питания, показан на рис. 44.R8 стандарта МЭК 60364-4-44 (см. рис. 6, на котором не показан n -й источник питания).

В пояснениях к рис. 44.R8 стандарта МЭК 60364-4-44 указано, что не допускается непосредственное присоединение к земле нейтральных точек трансформаторов или генераторов. Проводник, соединяющий эти точки, должен быть изолированным. Он функционирует как **PEN-проводник** и может быть маркирован в этом качестве. Однако его не следует присоединять к электроприемникам, о чем должна быть сделана предупредительная надпись, прикрепленная к нему

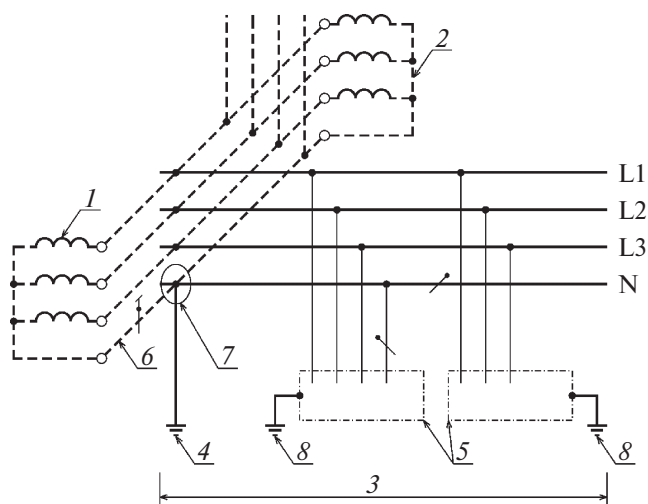


Рис. 6 (44.R8). Питание электроустановки от нескольких источников в системе ТТ с присоединением нейтральных точек к земле в одной и той же точке:


1 — источник питания 1; 2 — источник питания 2; 3 — электроустановка; 4 — заземление источника питания; 5 — открытые проводящие части; 6 — **PEN-проводник**, соединяющий между собой нейтрали источников питания; 7 — точка соединения между взаимно соединенными нейтральными точками источников питания и PE; 8 — заземление открытых проводящих частей

или расположенная рядом. Следует выполнить только одно соединение между взаимно соединенными нейтральными точками источников питания и PE. Это соединение должно находиться внутри главного распределительного устройства.

Рис. 44.R8 стандарта МЭК 60364-4-44 и пояснения к нему содержат много ошибок и неточностей. Во-первых, правильное и точнее было бы назвать его следующим образом: *Система ТТ с несколькими источниками питания трехфазная четырехпроводная*.

Во-вторых, проводник, соединяющий нейтрали источников питания, и на рис. 44.R8 стандарта МЭК 60364-4-44, и в пояснениях к нему идентифицирован в качестве **PEN-проводника**. Однако PEN-проводник, применяемый для соединения открытых проводящих частей низковольтной электроустановки с заземленной нейтралью источника питания, может быть только в системах TN-C-S и TN-C. В системе TN-S проводник, соединяющий между собой нейтрали нескольких источников питания, выполняет функции защитного и нейтрального проводников, т. е. он также является PEN-проводником.

В системе ТТ не предусмотрено соединение открытых проводящих частей низковольтной электроустановки с заземленной нейтралью источника питания. Поэтому проводник, соединяющий между собой нейтрали

нескольких источников питания, не выполняет функции защитного проводника — он является нейтральным проводником. В пояснениях к рисунку вместо PEN-проводника следовало указать нейтральный проводник, который должен быть маркирован его графическим обозначением — .

В-третьих, в пояснениях к рисунку речь идет о соединении нейтралей источников питания и РЕ. Аббревиатурой “РЕ” обозначают защитные проводники. В системе ТТ их применяют для выполнения защитного заземления открытых проводящих частей низковольтной электроустановки. С этой целью открытые проводящие части 5 защитными проводниками соединяют с заземляющим устройством низковольтной электроустановки 8. В системе ТТ не может быть никакого электрического соединения между нейтралью источников питания и защитными проводниками электроустановки. Поэтому в точке 7 к проводнику, соединяющему между собой нейтрали источников питания, присоединен нейтральный проводник электроустановки.

В-четвертых, при типе заземления системы ТТ заземлитель 4 заземляющего устройства нейтралей источников питания должен быть электрически независимым от заземлителя 8 заземляющего устройства открытых проводящих частей низковольтной электроустановки [3]. Выполнить электрически независимые заземлители можно в том случае, если расположить их на большом расстоянии друг от друга. Поэтому практически невозможно смонтировать в одной низковольтной электроустановке два заземляющих устройства, имеющих электрически независимые заземлители. В п. 444.5.1 “Взаимное соединение заземляющих электродов” стандарта МЭК 60364-4-44 указано, что все относящиеся к зданию заземляющие электроды, например, защитного заземления, функционального заземления и заземления молниезащиты должны быть соединены между собой, т. е. заземлители заземляющего устройства нейтралей источников питания и заземлители заземляющего устройства, предназначенного для выполнения защитного заземления открытых проводящих частей низковольтной электроустановки, должны быть электрически соединены между собой. По этим причинам возможность выполнения системы ТТ на рис. 6 представляется маловероятной в условиях, когда низковольтная электроустановка под-

ключена непосредственно к источнику питания.

В феврале 2011 г. автор информировал членов группы поддержки 1 технического комитета 64 (ТК 64) МЭК об ошибках и предложил внести исправления в рассматриваемые требования стандарта МЭК 60364-4-44 путем подготовки и опубликования документа “Опечатка 2”³ к международному стандарту. В отправленном в ТК 64 проекте “Опечатка 2” предлагалось исправить рис. 44.R8, а в пояснениях к нему вместо PEN- и РЕ-проводников указать нейтральный проводник.

Технический комитет 64 подготовил и в марте 2011 г. опубликовал на сайте МЭК документ 64/1773/DC «Предложение для “Опечатки” к п. 444 стандарта МЭК 60364-4-44» (“Proposal for a corrigendum on IEC 60364-4-44, Clause 444”), в котором было указано, что он основан на запросе, полученном от российского эксперта. Изучив рис. 44.R8 и пояснения к нему, председатель и секретарь ТК 64 совместно с экспертами из Германии пришли к заключению, что рисунок с пояснениями может привести к недоразумениям. В документе было предложено обсудить подготовленный ТК 64 вариант исправлений.

В октябре 2011 г. на сайте МЭК была опубликована “Опечатка 2” к стандарту МЭК 60364-4-44 [8] с исправленным рис. 44.R8, на котором проводник, соединяющий нейтрали источников питания, корректно идентифицирован в качестве нейтрального проводника. Кроме того, исправлено одно из пояснений к рисунку, из которого изъято упоминание о PEN-проводнике, однако оставлено прежним пояснение к рисунку, содержащее указание о выполнении только одного соединения между взаимно соединенными нейтралью источников питания и РЕ-проводником. А в пояснениях к рис. 44.R8 термин “нейтральная точка” необоснованно заменен словосочетанием “точка звезды” (“star point”). Таким образом, в требованиях стандарта МЭК 60364-4-44 к системе ТТ, имеющей несколько источников питания, осталась ошибка, которая должна быть исправлена. Название рис. 44.R8 стандарта МЭК 60364-4-44 и пояснения к нему нужно сформулировать точнее.

На основе стандарта МЭК 60364-4-44 был разработан новый национальный стандарт

³ С помощью документа “Опечатка” осуществляют исправление ошибок в стандартах и других документах МЭК. Его обычно принимают без обсуждения и голосования. В мае 2010 г. на сайте МЭК (www.iec.ch) была опубликована “Опечатка 1” к стандарту МЭК 60364-4-44 [7].

ГОСТ Р 50571-4-44 [9] (действует с 1 июля 2012 г.), который заменил ГОСТ Р 50571.18 [10], ГОСТ Р 50571.19 [11] и ГОСТ Р 50571.20 [12]. По предложению автора в ГОСТ Р 50571-4-44 были исправлены рис. 44.R8 “Система ТТ с несколькими источниками питания с присоединением нейтральных точек к земле в одной и той же точке” и пояснения к нему, сформулированные следующим образом:

“а) Не допускается непосредственное присоединение к земле ни одной нейтральной точки трансформатора или генератора.

б) Проводник, соединяющий нейтральные точки всех трансформаторов или генераторов, должен быть изолированным. Этот проводник является нейтральным проводником и может быть так и обозначен, однако он не должен присоединяться к электроприемникам, о чем должна быть выполнена предупреждающая надпись, прикрепленная к нему или установленная рядом с ним.

в) Должно быть выполнено только одно соединение между взаимно соединенными нейтральными точками источников питания и нейтральным проводником. Это соединение должно находиться внутри главного распределительного щита”.

Название рис. 44.R8 в ГОСТ Р 50571-4-44 изменено по сравнению с первоисточником. Однако оно должно быть в едином стиле с названиями рис. 31D и 31E ГОСТ Р 50571.1: *Система ТТ с несколькими источниками питания трехфазная четырехпроводная*.

Итак, в требованиях стандарта МЭК 60364-1 и ГОСТ Р 50571.1 к типам заземления системы TN для низковольтных электрических систем переменного тока с несколькими источниками питания есть ошибки, которые должны быть исправлены. Требования стандарта МЭК 60364-4-44 к системе ТТ, имеющей несколько источников питания, изменены частично. Поэтому следует исправить в них некорректное требование, предусматривающее обязательное присоединение защитного проводника низковольтной электроустановки к соединенным между собой нейтральным источникам питания. Аналогичные требования в ГОСТ 50571-4-44 полностью исправлены.

Список литературы

1. **ГОСТ Р 50571.1–2009 (МЭК 60364-1:2005)**. Электроустановки низковольтные. Ч. 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2010.
2. **International standard IEC 60364-1:2005**. Low-voltage electrical installations. Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions. Fifth edition. — Geneva: IEC, 2005-11.
3. **Харечко Ю. В.** Анализ новых требований к электрическим системам TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT переменного тока с одним источником питания. — Промышленная энергетика, 2012, № 4.
4. **Харечко Ю. В.** Анализ новых требований к электрическим системам TN-C, TN-S, TN-C-S, TT, IT постоянного тока. — Промышленная энергетика, 2012, № 6.
5. **Харечко Ю. В.** Анализ основополагающих понятий “система распределения электроэнергии” и “тип заземления системы”. — Промышленная энергетика, 2012, № 3.
6. **International standard IEC 60364-4-44:2007**. Low-voltage electrical installations. Part 4-44: Protection for safety. Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances. Edition 2.0. — Geneva: IEC, 2007-08.
7. **International standard IEC 60364-4-44-cor1:2010**. Low-voltage electrical installations. Part 4-44: Protection for safety. Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances. Corrigendum 1. Edition 2.0. — Geneva: IEC, 2010-05.
8. **International standard IEC 60364-4-44-cor2:2011**. Low-voltage electrical installations. Part 4-44: Protection for safety. Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances. Corrigendum 2. Edition 2.0. — Geneva: IEC, 2011-10.
9. **ГОСТ Р 50571-4-44–2011 (МЭК 60364-4-44:2007)**. Электроустановки низковольтные. Ч. 4-44. Требования по обеспечению безопасности. Защита от отклонений напряжения и электромагнитных помех. — М.: Стандартинформ, 2012.
10. **ГОСТ Р 50571.18–2000 (МЭК 60364-4-442–93)**. Электроустановки зданий. Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Гл. 44: Защита от перенапряжений. Раздел 442. Защита электроустановок до 1 кВ от перенапряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1 кВ. — М.: ИПК “Изд-во стандартов”, 2001.
11. **ГОСТ Р 50571.19–2000 (МЭК 60364-4-443–95)**. Электроустановки зданий. Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Гл. 44: Защита от перенапряжений. Раздел 443. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений. — М.: ИПК “Изд-во стандартов”, 2001.
12. **ГОСТ Р 50571.20–2000 (МЭК 60364-4-444–96)**. Электроустановки зданий. Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности. Гл. 44: Защита от перенапряжений. Раздел 444. Защита электроустановок от перенапряжений, вызванных электромагнитными воздействиями. — М.: ИПК “Изд-во стандартов”, 2001.

Y.Kharechko@rambler.ru