ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

СТБ МЭК 61000-2-4-2005

Электромагнитная совместимость

Часть 2-4

УСЛОВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. УРОВНИ СОВМЕСТИМОСТИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ

Электрамагнітная сумяшчальнасць

Частка 2-4

УМОВЫ НАВАКОЛЬНАГА АСЯРОДДЗЯ. УЗРОЎНІ СУМЯШЧАЛЬНАСЦІ Ў ПРАМЫСЛОВЫХ УСТАНОЎКАХ ДЛЯ НІЗКАЧАСТОТНЫХ КАНДУКТЫЎНЫХ ПЕРАШКОД

(IEC 61000-2-4:2002, IDT)

Издание официальное

БЗ 11-2005

Госстандарт

Минск

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.396.6:621.391.827(083.74)(476) МКС **33.100.10**; 33.100.20 КП 02 IDT

Ключевые слова: совместимость электромагнитная, уровни совместимости в промышленных установках, классы электромагнитной обстановки

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации»

1 ПОДГОТОВЛЕН научно-производственным республиканским унитарным предприятием «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации (БелГИСС)»

ВНЕСЕН отделом стандартизации Госстандарта Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 29 ноября 2005 г. № 56

3 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 61000-2-4:2002 «Electromagnetic compatibility (EMC). Part 2-4. Environment. Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances» (МЭК 61000-2-4:2002 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 2-4. Условия окружающей среды. Уровни совместимости в промышленных установках для низкочастотных кондуктивных помех»).

Международный стандарт разработан техническим комитетом МЭК/ТК 77 «Электромагнитная совместимость электрооборудования».

Перевод с английского языка (en).

Официальные экземпляры международных стандартов, на основе которого подготовлен настоящий государственный стандарт, и стандартов, на которые даны ссылки, имеются в БелГИСС.

Степень соответствия – идентичная (IDT)

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Настоящий стандарт не может быть тиражирован и распространен без разрешения Госстандарта Республики Беларусь

Издан на русском языке

Содержание

Введение IV
1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Определения 2
3.1 Общие определения 2
3.2 Определения, связанные с помехами 3
4 Классы электромагнитной обстановки 5
5 Уровни электромагнитной совместимости 5
6 Уровни электромагнитной совместимости 8
Приложение А (справочное) Пояснения и примеры для межгармоник 11
Приложение В (справочное) Примеры предполагаемых уровней помех в типовых сетях энергоснабжения промышленных предприятий 13
Приложение С (справочное) Межгармоники и напряжения высокой частоты 20
Библиография 26

Введение

МЭК 61000 издан в отдельных частях согласно следующей структуре:

Часть 1: Основы

Общие вопросы (введение, основные принципы)

Определения, терминология

Часть 2: Электромагнитная обстановка

Описание электромагнитной обстановки

Классификация электромагнитной обстановки

Уровни электромагнитной совместимости

Часть 3: Нормы

Нормы на эмиссию

Нормы устойчивости (в случаях, когда они не являются предметом рассмотрения техническими комитетами, разрабатывающими стандарты на продукцию)

Часть 4: Методы испытаний и измерений

Методы измерений

Методы испытаний

Часть 5: Руководства по установке и помехоподавлению

Руководства по установке

Методы помехоподавления и устройства

Часть 6: Серия стандартов

Часть 9: Разное

Каждая часть подразделяется на разделы, которые могут быть опубликованы как международные стандарты, технические спецификации или технические отчеты, некоторые из которых уже были изданы как серии. Остальные будут изданы с номером части, отделяемой чертой, и вторым номером, указывающим раздел (пример: 61000-3-11).

Дополнительные сведения о помехах различных видов, которые можно ожидать в системах электроснабжения общего назначения, приведены в МЭК 61000-2-1 и МЭК 61000-2-12.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Электромагнитная совместимость
Часть 2-4
УСЛОВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.
УРОВНИ СОВМЕСТИМОСТИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОНДУКТИВНЫХ ПОМЕХ

Электрамагнітная сумяшчальнасць
Частка 2-4
УМОВЫ НАВАКОЛЬНАГА АСЯРОДДЗЯ.
УЗРОЎНІ СУМЯШЧАЛЬНАСЦІ Ў ПРАМЫСЛОВЫХ УСТАНОЎКАХ ДЛЯ НІЗКАЧАСТОТНЫХ КАНДУКТЫЎНЫХ ПЕРАШКОД

Electromagnetic compatibility. Part 2-4. Environment.
Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances

Дата введения 2006-06-01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на кондуктивные помехи в диапазоне частот от 0 до 9 кГц. Настоящий стандарт устанавливает числовые значения уровней электромагнитной совместимости для систем электроснабжения промышленных предприятий и систем, не относящихся к системам общего назначения с номинальным напряжением до 35 кВ и номинальной частотой 50 или 60 Гц.

Стандарт не распространяется на системы электроснабжения кораблей, самолетов, прибрежных платформ и железных дорог.

Уровни электромагнитной совместимости, установленные в настоящем стандарте, применяются для точек внутрипроизводственного присоединения. Для точек присоединения оборудования, питающегося от вышеупомянутых систем, уровни помех могут быть в основном приняты такими же, как и уровни для точек внутрипроизводственного присоединения. В некоторых ситуациях это неверно, особенно в случае длинной линии питания, предназначенной для специальных целей, или в случае помех, созданных или усиленных в пределах отдельных частей оборудования.

Уровни электромагнитной совместимости установлены для различных типов электромагнитных помех, которые могут появляться в любой точке внутрипроизводственного присоединения (ТВП) к сетям электропитания промышленных предприятий или иным специальным сетям электропитания, для руководства при:

a) установлении норм на излучение помех в сетях электропитания промышленных предприятий (включая уровни планирования, определенные в 3.1.5).

Примечание – В электромагнитной обстановке систем электропитания промышленных предприятий или систем, не относящихся к системам общего назначения, возможен очень широкий диапазон условий. В настоящем стандарте они сведены в три класса, описанные в разделе 4. Задача разработчика системы электропитания – учесть особенности электромагнитных и экономических условий, включая характеристики оборудования, при выборе вышеупомянутых норм;

b) выборе уровня устойчивости оборудования для данных систем электропитания.

Помехи, рассматриваемые в настоящем стандарте:

– колебания напряжения;
– провалы напряжения и кратковременные перерывы электропитания;
– асимметрия напряжения;
– изменение частоты питания;
– гармоники до 50-го порядка;
– межгармоники до 50-й гармоники;

Издание официальное

– компоненты напряжения в более высоких частотах (выше 50-й гармоники);
– компоненты постоянного тока;
– импульсные скачки напряжения.

Уровни электромагнитной совместимости устанавливаются для различных классов электромагнитной обстановки применительно к характеристикам сети электропитания.

Примечание – Уровни электромагнитной совместимости в точках общего присоединения (ТОП) к системам электроснабжения общего назначения установлены в МЭК 61000-2-2 для низковольтных сетей и МЭК 61000-2-12 для сетей среднего напряжения. Технические отчеты МЭК 61000-3-6 и МЭК 61000-3-7 описывают подход поставщиков к нормам на излучение от сооружений и крупных потребителей электроэнергии.

2 Нормативные ссылки

Следующие стандарты обязательны для применения в настоящем стандарте. При датированных ссылках следует применять только указанную редакцию. При недатированных ссылках следует применять последнюю редакцию упомянутого документа (включая любые изменения).

МЭК 60050-101 Международный электротехнический словарь. Часть 101. Математика

МЭК 60050-161 Международный электротехнический словарь (МЭС). Часть 161. Электромагнитная совместимость

МЭК 60050-551 Международный электротехнический словарь. Часть 551. Силовая электроника

МЭК 61000-2-2 Электромагнитная совместимость. Часть 2-2. Условия окружающей среды. Уровни совместимости для низкочастотных проводимых помех и прохождения сигналов в низковольтных системах коммунального энергоснабжения

МЭК 61000-2-12 Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 2-12. Обстановка. Уровни совместимости низкочастотных кондуктивных помех и передачи сигналов в системах электроснабжения общественного пользования средней мощности

3 Определения

В настоящем стандарте применяют термины, установленные в МЭК 60050 (МЭС) (глава 161 и части 101 и 551), а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 Общие определения

3.1.1 помеха (электромагнитная) (electromagnetic) disturbance): Любое электромагнитное явление, которое при данной электромагнитной обстановке может снизить заданные функциональные характеристики электрического оборудования.

[МЭС 161-01-05, измененный]

3.1.2 уровень помехи (disturbance level): Значение величины электромагнитной помехи, измеренное в определенных условиях.

[МЭС 161-03-01, измененный]

3.1.3 электромагнитная совместимость; ЭМС (electromagnetic compatibility; EMC): Способность оборудования или системы функционировать с заданным качеством, в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

[МЭС 161-01-07].

Примечание 1 – Электромагнитная совместимость – условие электромагнитной обстановки, когда для каждой помехи уровень излучения помехи является достаточно низким, а уровень устойчивости достаточно высок, так что все устройства, оборудование и системы работают с заданным качеством.

Примечание 2 – Электромагнитная совместимость считается достигнутой, когда излучение и уровень устойчивости контролируются таким образом, что уровень устойчивости устройств, оборудования и систем в любом местоположении не превышается уровнем помех при заданном местоположении, с учетом совокупного излучения всех источников, а также других факторов, таких как полное сопротивление цепи. На практике считают, что совместимость существует, если вероятность отклонения от заданных параметров функционирования или вероятность неблагоприятного воздействия достаточно малы. См. МЭК 61000-2-1 (раздел 4).

Примечание 3 – Там, где требуется по тексту стандарта, совместимость может относиться как к единичной помехе, так и к классу помех.

Примечание 4 – Электромагнитная совместимость – термин, используемый для описания области изучения неблагоприятных электромагнитных эффектов, которыми устройства, оборудование и системы воздействуют друг на друга или подвергаются воздействию электромагнитных явлений.

3.1.4 уровень (электромагнитной) совместимости (electromagnetic) compatibility level): Установленный уровень электромагнитных помех, используемый как контрольный уровень в конкретной электромагнитной обстановке для согласования при определении норм излучения и устойчивости.

[МЭС 161-03-10, измененный]

Примечание – При согласовании уровень совместимости должен быть выбран таким образом, чтобы вероятность того, что он будет превышен фактическим уровнем помех, была мала.

3.1.5 уровень планирования (planning level): Уровень отдельной помехи в определенной электромагнитной обстановке, принятый как контрольное значение для норм, которые будут установлены для излучения больших нагрузок и сооружений, для согласования этих норм с нормами, принятыми для оборудования, предполагаемого к подключению к системе электроснабжения.

Примечание – Уровень планирования в каждом месте индивидуален и должен устанавливаться ответственными за планирование и функционирование системы электроснабжения в данной области. Для дальнейших разъяснений см. МЭК 61000-2-2 (приложение А).

3.1.6 точка общего присоединения; ТОП (point of common coupling; PCC): Точка системы электроснабжения общего назначения, электрически ближайшая к конкретному потребителю энергии, в которой присоединены или могут быть присоединены другие потребители.

[МЭС 161-07-15, измененный]

3.1.7 точка внутризаводского присоединения; ТВП (in-plant point of coupling; IPC): Точка присоединения к питающей сети внутри системы электроснабжения или установки, электрически ближайшая к конкретному потребителю, в которой присоединены или могут быть присоединены другие потребители.

Примечание – На практике ТВП – точка, для которой устанавливаются требования электромагнитной совместимости.

3.2 Определения, связанные с помехами

Определения, приведенные ниже, касаются гармоник, полученных при анализе напряжений системы или цепи методом дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Это практическое применение преобразования Фурье, как указано в МЭС 101-13-09 (см. приложение А).

Примечание – Преобразование Фурье из периодической или непериодической функции времени является функцией частоты и представляется как спектр частоты функции времени или просто спектр. Если функция времени периодическая, то спектр составлен из дискретных линий (или составляющих). Если функция времени непериодическая, то спектр – непрерывная функция, показывающая составляющие во всех частотах.

Остальные определения, связанные с гармоникой или межгармоникой, приведены в МЭС и других стандартах. Некоторые из этих определений, не используемые в настоящем стандарте, приведены в приложении А.

3.2.1 основная частота (fundamental frequency): Частота в спектре, полученная преобразованием Фурье функции времени, относительно которой задаются все частоты спектра. В настоящем стандарте за основную частоту принята частота сети электропитания.

[МЭС 101-14-50, измененный]

Примечание 1 – В случае периодической функции основная частота равна непосредственно частоте функции (см. А.1).

Примечание 2 – В случае возникновения опасности неверного определения частоты электропитания должны быть указаны полярность и скорость вращения синхронного генератора(ов), питающего(их) систему.

Примечание 3 – Данные определения могут применяться к любой промышленной сети электропитания, без уточнения потребителя электроэнергии (единичный потребитель или совокупность потребителей, вращающиеся механизмы или другие потребители) и даже в случае, если питающий сеть генератор является полупроводниковым преобразователем.

3.2.2 основная составляющая (fundamental component (or fundamental): Составляющая, частота которой является основной частотой.

3.2.3 частота гармоники (harmonic frequency): Частота, являющаяся произведением целого числа и основной частоты. Отношение частоты гармоники к основной частоте называется порядком гармоники (рекомендуемое обозначение – «*h*»).

3.2.4 гармоническая составляющая (harmonic component): Любая из составляющих, имеющая частоту гармоник. Эта величина обычно выражается как среднеквадратическая величина.

Для краткости такой компонент может быть назван просто гармоника.

3.2.5 межгармоническая частота (interharmonic frequency): Любая частота, являющаяся произведением нецелого числа и основной частоты.

Примечание 1 – Являясь продолжением гармонического ряда, межгармонический ряд – это отношение межгармонической частоты к основной частоте. Это отношение не является целым числом (рекомендуемое обозначение – «*m*»).

Примечание 2 – В случае, когда $m < 1$, может также использоваться термин «субгармоническая частота».

3.2.6 межгармоническая составляющая (interharmonic component): Составляющая, имеющая межгармоническую частоту. Ее значение обычно выражается как среднеквадратическая величина.

Для краткости такая составляющая может быть названа просто межгармоника.

Примечание – В настоящем стандарте и как установлено в МЭК 61000-4-7 временное окно составляет 10 основных периодов (для систем на 50 Гц) или 12 основных периодов (для систем на 60 Гц), что соответствует приблизительно 200 мс. Разница по частоте между двумя последовательными межгармоническими составляющими составляет приблизительно 5 Гц.

3.2.7 суммарный коэффициент гармоник; СКГ (total harmonic distortion; THD): Выражается как отношение среднеквадратической величины суммы всех гармонических составляющих определенного порядка (рекомендуемое обозначение – «*H*») к значению среднеквадратической величины основной составляющей:

$$\mathrm{THD} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=H}\left(\frac{Q_h}{Q_1}\right)^2},$$

где Q – величина тока или напряжения;

Q_1 – значение среднеквадратической величины основной составляющей;

h – порядок гармоники;

Q_h – значение среднеквадратической величины гармонической составляющей порядка h;

H – в настоящем стандарте равняется 50.

Примечание – При расчете THD учитываются только гармоники. В случае, если должны быть учтены и межгармоники, см. А.3.1.

3.2.8 асимметрия напряжения (неустойчивость) (voltage unbalance (imbalance): Состояние в многофазной сети, когда значение среднеквадратической величины линейного напряжения (основная составляющая) или угол сдвига фаз между соседними линейными напряжениями не равны. Степень несоответствия обычно выражается как отношения отрицательных и нулевых составляющих последовательности к положительным составляющим последовательности.

[МЭС 161-08-09, измененный]

Примечание 1 – В общем случае асимметрия напряжения трехфазной сети рассматривается только при обратной последовательности составляющих. Однако в некоторых случаях необходимо учитывать и нулевую составляющую.

Примечание 2 – Несколько приближений дают приемлемую точность результата для оценки уровней ассиметрии напряжения (отношение отрицательных к положительным составляющим последовательности):

$$\text{т. е. асимметрия напряжения} = \sqrt{6 \times \frac{U_{12}^2 + U_{23}^2 + U_{31}^2}{(U_{12} + U_{23} + U_{31})^2} - 2},$$

где U_{12}, U_{23}, U_{31} – значения трех основных линейных напряжений.

3.2.9 колебание напряжения (voltage deviation): Увеличение или уменьшение среднеквадратического значения напряжения сети питания, возникающего обычно из-за изменения нагрузки сети питания или ее части либо быстрого периодического или непериодического изменения напряжения из-за быстрого изменения нагрузки (см. МЭК 61000-2-2, пункт 4.2, первый абзац); влияние импульсных процессов без остаточного явления не учитывается.

Примечание – Некоторые колебания напряжения могут быстро изменяться из-за адаптации сети напряжения к условиям нагрузки (например, изменение напряжения при замене трансформаторов, длительный эффект переключения конденсаторных блоков). Колебания напряжения могут вызвать всплеск в результате различных явлений (серии изменений напряжения или циклических изменений напряжения). Отклонение напряжения и колебания напряжения – основные виды изменений напряжения.

3.2.10 провал напряжения (падение напряжения) (voltage dip (voltage sag): Кратковременное снижение напряжения в определенной точке системы электроснабжения ниже порогового напряжения, сопровождаемого его восстановлением в течение короткого интервала.

Примечание 1 – Обычно снижение связано с возникновением и устранением короткого замыкания или другого предельного увеличения тока в сети или в оборудовании, подсоединенном в сеть.

Примечание 2 – В общем случае пороговое напряжение соответствует минимальному значению напряжения.

3.2.11 импульсный скачок напряжения (transient overvoltage): Колебательный или не колебательный скачок напряжения длительного затухания длительностью в несколько миллисекунд. Уровень электромагнитной совместимости связан с пиковым значением линии относительно земли.

Примечание – Обычно импульсный скачок напряжения возникает из-за атмосферных явлений или из-за явлений, возникающих при работе в сети некоторых устройств (переключения, перегорания предохранителей). Его значение может колебаться от менее 1 мкс до нескольких миллисекунд.

4 Классы электромагнитной обстановки

Электромагнитная обстановка классифицируется рядом классов, но в целях упрощения содержания настоящего стандарта приводятся следующие три класса:

Класс 1. Данный класс применяется для защищенных сетей, имеющих уровень электромагнитной совместимости ниже, чем в системах электроснабжения общего назначения. Соответствует системе с применением очень чувствительного к помехам в сети оборудования, например электрические измерительные приборы в лабораториях, некоторое автоматизированное и защитное оборудование, некоторые компьютеры и т. д.

Класс 2. Данный класс применяется обычно для электромагнитной обстановки в ТОП и в ТВП в промышленных и других сетях электроснабжения специального назначения. Уровни электромагнитной совместимости этого класса идентичны уровням, применяемым для сетей общего назначения. Поэтому оборудование, применяемое в сети общего назначения, может использоваться и для данного класса электромагнитной обстановки.

Класс 3. Данный класс применяется только для ТВП в промышленных условиях эксплуатации. Он имеет более высокие уровни электромагнитной совместимости, чем для класса 2, в отношении некоторых электромагнитных явлений, вызывающих помехи. Данный класс применим в следующих случаях:

– питание большей части нагрузки осуществляется через преобразователи;

– используется сварочное оборудование;

– имеют место частые пуски электродвигателей большой мощности;

– имеют место резкие изменения нагрузок.

Класс электромагнитной обстановки для нового производства и при модернизации существующего предприятия не может быть определен заранее и должен учитывать тип оборудования и технологических процессов сети.

Примечание 1 – Для электромагнитной обстановки класса 1 характерно наличие оборудования, для которого необходима дополнительная защита с такими устройствами, как источники бесперебойного питания (ИБП), фильтрами или устройствами, подавляющими выбросы.

Примечание 2 – В некоторых случаях для высокочувствительного оборудования может потребоваться уровень электромагнитной совместимости ниже, чем для класса 1 электромагнитной обстановки. В этом случае уровни электромагнитной совместимости должны быть установлены в каждом конкретном случае.

Примечание 3 – При функционировании некоторого оборудования, такого как дуговые печи и мощные преобразователи, которые обычно питаются от отдельного высокочастотного кабеля, часто имеются уровни помех выше значения, характерного для класса 3 (жесткая электромагнитная обстановка). В таких специальных ситуациях уровни электромагнитной совместимости должны быть согласованы.

Примечание 4 – С учетом разнообразия промышленных сред различные классы могут быть уместны для различных явлений, имеющих место в сети.

5 Уровни электромагнитной совместимости

5.1 Основные положения

Уровни электромагнитной совместимости устанавливаются с учетом конкретных помех. Однако электромагнитная обстановка обычно содержит несколько видов помех одновременно, следовательно, функционирование некоторого оборудования может быть ухудшено наличием специфических комбинаций помех (см. МЭК 61000-2-2, раздел 2).

Уровни электромагнитной обстановки приведены в таблицах 1 – 5. См. также рекомендации для межгармоник в приложении С.

ТВП должен быть разделены на категории в соответствии с уровнями электромагнитной совместимости. Для обоснования выбора определенного оборудования или устройств, например моторгенераторов, батарей сетевых конденсаторов, фильтров, может потребоваться определенное описание колебаний напряжения, которые могут иметь место на контактах оборудования. Технические комитеты, ответственные за разработку стандартов на конкретную продукцию, должны привести необходимые характеристики, чтобы облегчить правильный выбор компонентов. Они должны также учитывать уровни электромагнитной совместимости, приведенные в этом стандарте, при определении условий функционирования системы электропитания оборудования.

Соответствие уровней электромагнитной совместимости в ТВП не обязательно подразумевает выполнение требований ограничения помехоизлучения в ТОП. Этот факт должен учитываться при выборе оборудования.

Примечание 1 – Оборудование, работающее в пределах класса 1, – обычно низковольтное оборудование.

Примечание 2 – В приложении В приводится несколько примеров расчета уровней помех, вызванных силовыми преобразователями в промышленных системах электроснабжения.

Примечание 3 – Уровни электромагнитной совместимости класса 3 охватывают возможные помехи, возникающие в промышленных системах питания. Для конкретной установки можно ожидать, что только некоторые типы помех будут иметь уровни, имеющие отношение к классу 3. Так как оборудование или устройства имеют различную восприимчивость к различным видам помех, определенное оборудование или устройство может использоваться в системах электроснабжения по классу 3, в зависимости от фактического уровня помех.

Примечание 4 – Уровни помех в различное время в разных местах могут быть разными, поэтому оценка должна быть сделана для полной промышленной сети, а не по определенному участку в пределах системы.

5.2 Колебания напряжения

См. таблицу 1. Для класса 3 значение длительности колебания напряжения сети в диапазоне от 0,85 до 0,9 U_c не превышают продолжительности в 60 с. Для более длительных колебаний применяется диапазон от 0,9 до 1,1 U_c.

Примечание 1 – Колебания напряжения, имеющие фликер, возникают только в осветительном оборудовании. Данное оборудование должно быть подключено к сети класса 2. В данном случае применяются уровни электромагнитной совместимости по МЭК 61000-2-2.

Примечание 2 – В некоторых случаях некоторое оборудование может быть чувствительно к быстрым изменениям напряжения сети.

5.3 Провалы напряжения и кратковременные перерывы электропитания

Для ТВП класса 1 защита с помощью ИБП обеспечивает отсутствие провалов напряжения.

Для рассмотрения других факторов этих явлений см. приложение В.3.

5.4 Асимметрия напряжения (неустойчивость)

В настоящем стандарте асимметрию напряжения рассматривают только для составляющих обратной последовательности, имеющих место при подключении оборудования в систему электроснабжения, оговоренную данным стандартом. В настоящем стандарте асимметрию напряжения рассматривают при длительном воздействии, т. е. при длительности 10 мин и выше.

Примечание 1 – Некоторое оборудование защиты может быть чувствительно к нулевому компоненту напряжения. Данный аспект должен быть учтен при установке.

Примечание 2 – Нулевые напряжения в основном имеют место для гармоник, кратных 3.

Примечание 3 – Электронные преобразователи производят характерную гармонику, возникающую из-за их топологии, при использовании их в соответствии с условиями эксплуатации. Различные эксплуатационные режимы, такие как асимметрия, неидентичная замена и т. д., могут являть причиной возникновения гармоник других порядков.

Асимметрия напряжения, имеющая место при подключении однофазной нагрузки, является практически равной отношению полезной выходной мощности нагрузки к мощности короткого замыкания трехфазной сети. При отсутствии значительных однофазных нагрузок могут применяться уровни электромагнитной совместимости, соответствующие классу 2.

5.5 Колебания частоты питающего напряжения

Уровни электромагнитной совместимости для колебаний частоты питающего напряжения применяют к промышленным предприятиям, подключенным к системам электроснабжения общего назначения.

Большинство колебаний частоты до 1 Гц от номинальной частоты установлены в МЭК 61000-2-2 (пункт 4.8). При синхронном внутреннем подключении оборудования колебания обычно намного меньше.

Уровень электромагнитной совместимости для колебаний частоты от номинальной частоты составляет ± 1 Гц. Установившееся отклонение частоты от номинальной частоты намного меньше.

Примечание 1 – Для некоторого оборудования изменения частоты значительны.

Примечание 2 – В случае, если система электропитания изолирована от сети общего назначения, изменение частоты может достигать ± 4 %. Фактические уровни электромагнитной совместимости в этом случае должны быть оговорены в каждом конкретной случае.

5.6 Гармоники

Уровни электромагнитной совместимости для частных гармонических составляющих напряжения должны быть при квазипостоянных или установившихся гармониках и имеют исходные значения для длительных воздействий и очень кратковременных воздействий.

Продолжительные воздействия имеют место при тепловых явлениях в кабеле, трансформаторах, двигателях, конденсаторах и т. д. Данные явления являются результатом гармоник, длительность периода которых равняется или выше 10 мин.

Уровни электромагнитной совместимости длительных воздействий для частных гармонических составляющих приведены в таблицах 2 – 4. Уровни электромагнитной совместимости суммарного коэффициента гармоник приведены в таблице 5.

Краткосрочные воздействия имеют место при прерывающихся явлениях на электронных устройствах, чувствительных к гармоникам длительностью менее 3 с. Импульсные процессы при этом не учитываются.

Для краткосрочных воздействий класса 2 и 3 уровень электромагнитной совместимости для частных гармонических составляющих и суммарного коэффициента гармоник в 1,5 раза больше значений, приведенных в таблицах 2 – 5.

Для класса 2 значения, приведенные в таблицах 2 – 4, необходимо умножить на фактор k, который вычисляется следующим образом:

$$k = 1{,}3 + \frac{0{,}7}{45} \cdot (h - 5).$$

Для соответствующего уровня совместимости суммарный коэффициент гармоник для класса 2 составляет 8 % (THD = 8 %) при короткой длительности.

Примечание 1 – В настоящем стандарте учтено влияние мест присоединения на гармонику напряжения. Другие факторы (например, влияние подключения других преобразователей или подключение оборудования, которое имеет высокие гармонические составляющие спектра) требуют дополнительного рассмотрения (см. конкретный стандарт на продукцию).

Примечание 2 – Для промышленной сети электроснабжения корректирующие конденсаторы должны подсоединяться последовательно с катушкой индуктивности, особенно при подсоединении в ТВП класса 3. Для исключения риска возникновения резонанса места возникновения межгармоник должны быть тщательно исследованы. В местах, где возможность возникновения резонанса исключена, значения высших гармоник гораздо меньше, чем приведенные для класса 3; в таком случае нет необходимости присоединения катушки индуктивности, но это должно быть тщательно изучено.

Примечание 3 – Значения, приведенные для полного гармонического искажения, не учитывают наличие специфического оборудования и устройств, но учитывают возможное одновременное наличие нескольких гармонических составляющих амплитуды.

5.7 Межгармоника

В приложении С содержится информация о возможных источниках, воздействиях и методах уменьшения влияния процессов, связанных с межгармоникой. Эти значения могут использоваться как рекомендуемые и должны быть уточнены с учетом практического опыта.

В настоящем стандарте уровни электромагнитной совместимости приводятся только для случая напряжения межгармонической частоты, близкой к основной частоте (50 или 60 Гц), включая амплитудные модуляции напряжения сети.

В данных условиях некоторые нагрузки, чувствительные к квадрату напряжения, особенно осветительное оборудование, имеют эффект пульсации, заканчивающийся фликером (см. примечание 1 в 5.2). Частота пульсации – разница между частотами двух соответствующих напряжений, т. е. между межгармоникой и основной частотой.

Примечание 1 – Уровни электромагнитной совместимости для межгармоник ниже 0,2 порядка определены для фликера P_{st} = 1. Для этих целей величина фликера должна быть рассчитана в соответствии с МЭК 61000-3-7 (приложение А) с использованием коэффициента формы для периодических и синусоидальных колебаний напряжения. Приемлемое значение коэффициента формы – 0,8 для 0,04 < m ≤ 0,2 и 0,4 для m ≤ 0,04.

Примечание 2 – Подобная ситуация возможна, когда имеется значительный уровень частоты гармоники (в частности, 3-го и 5-го порядков), совпадающий с межгармоническим напряжением близлежащей частоты. Эффект определяется по рисунку 1 по отношению амплитуд гармоник при изменении частоты. Результат не является значительным.

Уровень электромагнитной совместимости для напряжения межгармоники в вышеупомянутом случае выражен как отношение амплитуды к основной составляющей, как показано на рисунке 1 для функции падения частоты при уровне фликера P_{st} = 1 для ламп на напряжение в 120 и 230 В и применимо только в цепях, включающих осветительное оборудование.

5.8 Высокочастотные составляющие напряжения (выше 50-й гармоники)

Искажение формы напряжения может быть эквивалентным наложению напряжений частоты выше 50-й гармоники. В этом случае при наличии более высоких частот несущественно, являются ли они гармоникой или межгармоникой. Искажения могут быть как в виде составляющих дискретных частот, так и в виде широкополосного спектра.

До получения дополнительной информации для определения уровня необходимо руководствоваться С.3.

5.9 Импульсный скачок напряжения

Относительная амплитуда импульсных процессов зависит от длительности, их частоты и величины напряжения сети. См. В.4.

5.10 Составляющая постоянного тока

Напряжение в системах промышленного электроснабжения обычно не имеет составляющих постоянного тока значительного уровня. Эта составляющая может возникнуть из-за небольшой несимметричности управляемых нагрузок, которые подсоединены непосредственно, без трансформатора.

Критичным является уровень постоянного тока. Значение напряжения постоянного тока зависит не только от тока сети, но также и от других факторов, в особенности от сопротивления сети в данной точке. Следовательно, уровень электромагнитной совместимости для напряжения постоянного тока не определен.

Составляющая постоянного тока может являться причиной несимметричного намагничивания в трансформаторах и привести к перегреву и излучению гармонических напряжений. Кроме того, при стекании по земле такой ток ведет к увеличению коррозии металлической арматуры под землей.

6 Уровни электромагнитной совместимости

Уровни электромагнитной совместимости для изменения напряжения, асимметрии напряжения и изменений частоты приведены в таблице 1.

Уровни электромагнитной совместимости для гармоник приведены в таблицах 2 – 4.

Уровни электромагнитной совместимости для суммарного коэффициента гармоник приведены в таблице 5.

Уровни совместимости межгармоник представлены на рисунке 1.

Таблица 1 – Уровни электромагнитной совместимости для изменения напряжения, асимметрии напряжения и изменения частоты

Вид помехи	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Допустимое отклонение напряжения по отношению к номинальному напряжению U_N: $\Delta U/U_{ном}$	± 8 %	± 10 %[a]	От + 10 % до – 15 %[b]
Асимметрия напряжения $U_{отриц}/U_{полож}$	2 %	2 %	3 %
Отклонение промышленной частоты[c] Δf	± 1 Гц	± 1 Гц	± 1 Гц

[a] Значения не определены МЭК 61000-2-2.
[b] См. 5.2.
[c] ± 2 Гц в случае изолированной сети.

Таблица 2 – Уровни электромагнитной совместимости для гармоник – гармонические составляющие напряжения. Нечетные гармоники, не кратные трем

Порядок h	Класс 1 U_h, %	Класс 2 U_h, %	Класс 3 U_h, %
5	3	6	8
7	3	5	7
11	3	3,5	5
13	3	3	4,5
17	2	2	4
$17 < h \leq 49$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$4,5 \times (17/h) - 0,5$

Примечание – В случае когда к части промышленной сети питания подключены крупные нелинейные нагрузки класса 3 уровня электромагнитной совместимости, то для этой части значение может быть в 1,2 раза выше. В таком случае необходимо предусмотреть дополнительную защиту для подключаемого оборудования. Однако для ТОП (сети общего назначения) уровни электромагнитной совместимости устанавливаются по МЭК 61000-2-2 и МЭК 61000-2-12.

Таблица 3 – Уровни электромагнитной совместимости для гармоник – гармонические составляющие напряжения. Нечетные гармоники, кратные трем

Порядок h	Класс 1 U_h, %	Класс 2 U_h, %	Класс 3 U_h, %
3	3	5	6
9	1,5	1,5	2,5
15	0,3	0,4	2
21	0,2	0,3	1,75
$21 < h \leq 45$	0,2	0,2	1

Примечание 1 – Данные уровни применяются для нулевых составляющих последовательности гармоник.
Примечание 2 – В случае когда к части промышленной сети питания подключены крупные нелинейные нагрузки класса 3 уровня электромагнитной совместимости, то для этой части значение может быть в 1,2 раза выше. В таком случае необходимо предусмотреть дополнительную защиту для подключаемого оборудования. Однако для ТОП (сети общего назначения) уровни электромагнитной совместимости устанавливаются по МЭК 61000-2-2 и МЭК 61000-2-12.

Таблица 4 – Уровни электромагнитной совместимости – гармонические составляющие напряжения четных порядков

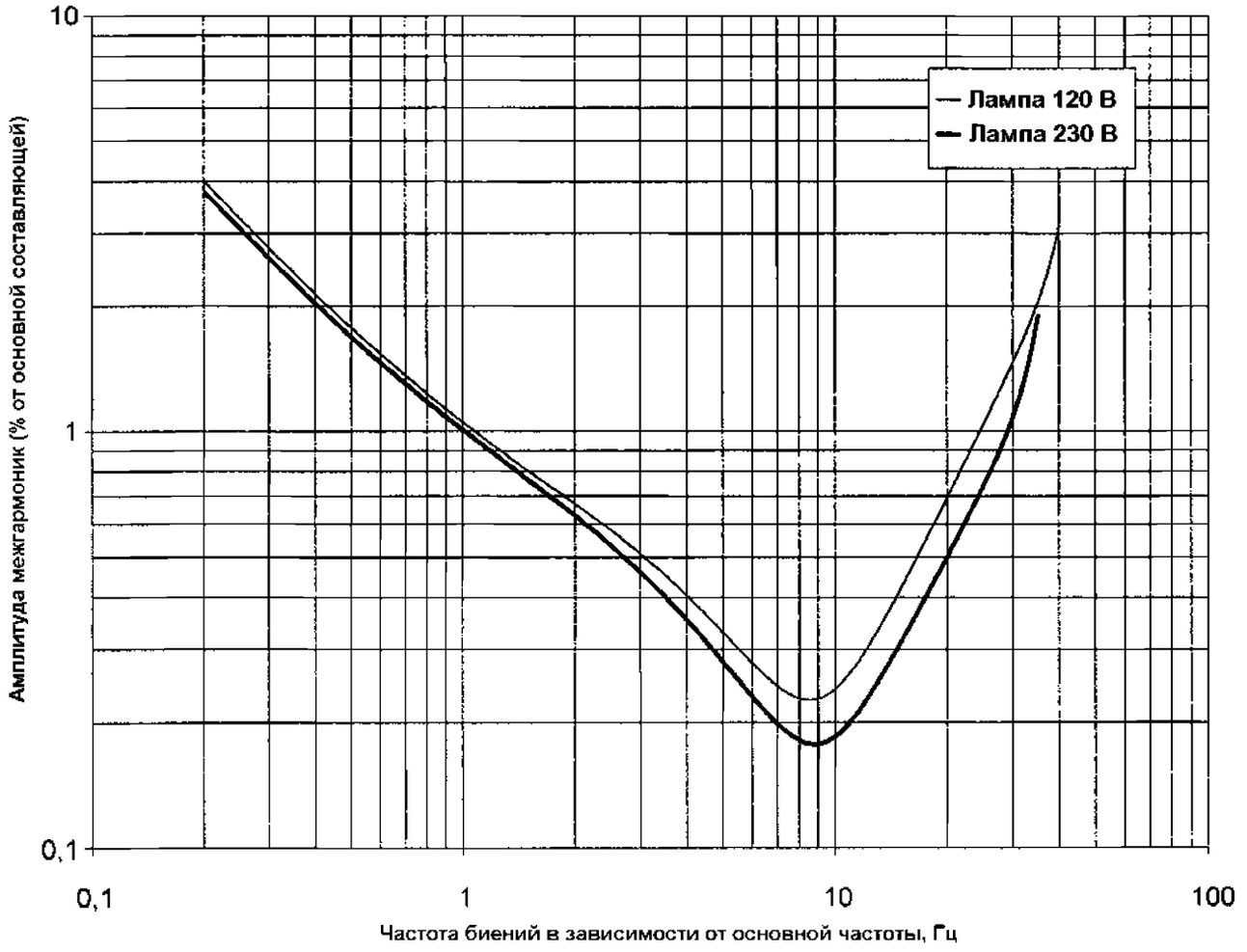
Порядок h	Класс 1 U_h, %	Класс 2 U_h, %	Класс 3 U_h, %
2	2	2	3
4	1	1	1,5
6	0,5	0,5	1
8	0,5	0,5	1
10	0,5	0,5	1
$10 < h \leq 50$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$	$0,25 \times (10/h) + 0,25$	1

Примечание – В случае когда к части промышленной сети питания подключены крупные нелинейные нагрузки класса 3 уровня электромагнитной совместимости, то для этой части значение может быть в 1,2 раза выше. В таком случае необходимо предусмотреть дополнительную защиту для подключаемого оборудования. Однако для ТОП (сети общего назначения) уровни электромагнитной совместимости устанавливаются по МЭК 61000-2-2 и МЭК 61000-2-12.

Таблица 5 – Уровни электромагнитной совместимости для суммарного коэффициента гармоник

	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Суммарный коэффициент гармоник	5 %	8 %	10 %

Примечание – В случае когда к части промышленной сети питания подключены крупные нелинейные нагрузки класса 3 уровня электромагнитной совместимости, то для этой части значение может быть в 1,2 раза выше. В таком случае необходимо предусмотреть дополнительную защиту для подключаемого оборудования. Однако для ТОП (сети общего назначения) уровни электромагнитной совместимости устанавливаются по МЭК 61000-2-2 и МЭК 61000-2-12.



Уровни электромагнитной совместимости для межгармоник соседних основных частот – систем на 230 и 120 В; рисунок иллюстрирует фликер как функцию от частоты биения, величина которой не зависит от частоты в сети.

Рисунок 1 – Уровни электромагнитной совместимости межгармоник (реакция на фликер при P_{st} = 1 для 60 Вт ламп накаливания)

Приложение А
(справочное)

Пояснения и примеры для межгармоник

А.1 Разложение несинусоидальных напряжений и токов

Искажение напряжения питания от заданной синусоидальной формы волны равнозначно наложению на установленное напряжение одного или более синусоидальных напряжений с нежелательными частотами. (Описанное ниже действительно и для напряжения, и для тока, следовательно, может быть использовано понятие «величина».)

Анализ ряда Фурье (МЭС 101-13-08) позволяет любой несинусоидальной, но периодической величине быть представленной в виде синусоидальной составляющей в ряде частот и дополнительно в виде составляющей постоянного тока. Самую низкую частоту ряда называют основной частотой f_f (МЭС 101-14-50). Другие частоты в ряду являются кратными целым числам по отношению к основной частоте и называются гармоническими частотами. Соответственно, составляющие периодически изменяющейся величины рассматриваются как основные и гармонические составляющие.

Преобразование Фурье (МЭС 101-13-09) может быть применено к любой функции, периодической или непериодической. Результат преобразования – спектр частот, который в случае непериодической функции времени является непрерывным и не имеет основной составляющей. В отдельных случаях применения к периодической функции разложения в ряд Фурье в области частот возможно разложение на основную и гармонические составляющие.

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) – практическое применение преобразования Фурье. На практике сигнал анализируется за ограниченный интервал времени (интервал времени с продолжительностью T_W) с использованием установленного числа (M) отсчетов реального сигнала. Результат дискретного преобразования Фурье зависит от выбора параметров T_W и M. Величина, обратная T_W, называется основной частотой f_b ДПФ.

ДПФ применяется к реальному сигналу в интервале времени. Сигнал не обрабатывается вне данного временного интервала, но допускается возможность тождественного преобразования сигнала внутри данного интервала. Результатом является приближение реального сигнала к эквивалентному сигналу, который является действительно периодическим с периодом, равным данному интервалу времени.

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) – специальный алгоритм, позволяющий сократить время вычисления. Этот метод требует целого числа образцов (M), кратного 2 ($M = 2^i$). (Требуется, чтобы количество выбранных значений частоты было ограничено числом, равным основанию 2, возведенному в целую степень.) Однако современные процессоры для цифровой обработки сигналов имеют такие возможности, что более сложное ДПФ (таблицы синуса и косинуса) может быть более экономичное и гибкое, чем определение частоты методом БПФ.

Чтобы результат ДПФ, примененного к функции, которую рассматривают как периодическую (см. А.2), являлся таким же, как результат анализа ряда Фурье, основная частота f_f определена целым числом, кратным задающей частоте [это требует, чтобы количество выбранных значений частот было точным целым числом, кратным задающей частоте ($f_s = M \times f_b$)]. Синхронное осуществление выборки обязательно. Потеря синхронизации может изменить результат спектра, создавая дополнительные линии, изменяющие амплитуды истинных линий.

Соответственно, методы измерения, определенные во втором издании МЭК 61000-4-7, и определение основной частоты в 3.2.1 настоящего стандарта применимы ко всем электротехническим и энергетическим электронным элементам. Другие случаи требуют дальнейшего рассмотрения.

Для примера рассмотрим совмещение синусоидально пульсирующего сигнала управления частотой 175 Гц с синусоидальным напряжением электропитания частотой 50 Гц. В результате получается периодическое напряжение, имеющее период 40 мс и частоту 25 Гц. Классический анализ ряда Фурье этого напряжения приводит к основной составляющей 25 Гц с нулевой амплитудой и двумя составляющими с ненулевой амплитудой, 2-й гармонике (50 Гц) с амплитудой, равной напряжению электропитания, и 7-й гармонике (175 Гц) с амплитудой, равной пульсирующему сигналу управления. Опреде-

ления в 3.2 настоящего стандарта исключают возможные неточности, которые могут иметь место при данном подходе, и результат получается в соответствии с общей практикой ДПФ (как описано в МЭК 61000-4-7), показывая основную составляющую в 50 Гц и межгармоники порядка 3, 5.

Примечание 1 – При анализе напряжения в системе электропитания составляющая основной частоты должна быть самой высокой амплитуды. Это не обязательно первая линия в спектре, полученном при применении ДПФ в функции времени.

Примечание 2 – При анализе тока составляющая основной частоты – не обязательно составляющая с самой большой амплитудой.

А.2 Изменяющийся во времени процесс

На напряжения и токи типовой системы электропитания воздействуют непрерывные переключения и изменения линейных и нелинейных нагрузок. Но для целей анализа их считают постоянными в пределах временного интервала измерения (приблизительно 200 мс), который является целым числом, кратным периоду напряжения электропитания. Анализаторы спектра проектируются с использованием последних доступных технологий (см. МЭК 61000-4-7).

А.3 Определение дополнительных терминов

Следующие определения дополняют данные в 3.2 настоящего стандарта и могут быть использованы на практике.

А.3.1 полное искажение величины (total distortion content): Разница от вычитания основной составляющей из переменной величины, рассматриваемая как функция времени.

Примечание – Среднеквадратическое значение полного искажения величины:

$$TDC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2},$$

где Q_1 – среднеквадратическое значение основной составляющей;

Q – суммарное среднеквадратическое значение, которое может представлять ток или напряжение.

Эта величина включает и гармонические, и межгармонические составляющие.

См. также определения в МЭС 101-14-54 (МЭК 60050-101) и МЭС 551-20-11 (МЭК 60050-551-20).

А.3.2 коэффициент полного искажения; TDR (total distortion ratio; TDR): отношение среднеквадратической величины полного искажения величины к среднеквадратическому значению основной составляющей [МЭС 551-20-14, измененный]:

$$TDR = \frac{TDC}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1},$$

где Q_1 – среднеквадратическое значение основной составляющей;

Q – суммарное среднеквадратическое значение, которое может представлять ток или напряжение.

Приложение В
(справочное)

Примеры предполагаемых уровней помех в типовых сетях энергоснабжения промышленных предприятий

В приложении приведены результаты вычисления уровней помех в ТВП в некоторых типовых сетях энергоснабжения промышленных предприятий. Рассмотрим следующие случаи:

– металлопрокатные заводы (таблица В.1, рисунок В.1);
– бумажная промышленность (таблица В.1, рисунок В.2);
– обрабатывающая промышленность (таблица В.2, рисунок В.3).

В.1 Уровень напряжения помех в промышленных сетях, включающих мощные преобразователи

Следует отметить, что некоторые ТВП, к которым подключены мощные преобразователи, могут иметь уровни помех, которые значительно превышают установленные для сетей электроснабжения общего назначения уровни.

Особенно это относится к уровням гармоник высокого порядка (в качестве примера дается гармоника 11-го порядка), для которых значения суммарного коэффициента гармоник или изменения напряжения превышают установленные для сетей электроснабжения общего назначения.

Приведенные результаты не являются полными уровнями помех, так как вклад, вносимый помехами, существующими в сетях электроснабжения общего назначения, не учитывается.

Таблица В.1 – Тип сети электроснабжения

	Металлопрокатные заводы			Бумажная промышленность		
	ТВП 1	ТВП 2	ТОП	ТВП 1	ТВП 2	ТОП
Напряжения гармоник Среднее значение						
U_5 (%)	3 – 6,5	2 – 3,9	1 – 2,2	1 – 1,7	1 – 2,3	0,5 – 1,1
U_{11} (%)	3 – 6,8	1,5 – 2,9	1 – 2	0,5 – 1,1	0,7 – 1,4	0,4 – 0,7
THD (%)	7 – 14,3	3,5 – 7,3	2 – 4,7	1,5 – 2,9	2 – 4	1 – 1,9
Напряжения гармоник Пиковые значения						
U_5 (%)	6 – 11,4	2,5 – 5,1	2 – 3,5	1 – 1,9	1,5 – 2,7	0,6 – 1,3
U_{11} (%)	6 – 11,5	2 – 4,2	2 – 3,3	0,5 – 1,2	0,8 – 1,6	0,4 – 0,8
THD (%)	12 – 24,7	5 – 9,9	4 – 7,3	1,5 – 3,3	2 – 4,6	1 – 2,3
Колебание напряжения ΔU, %	2 – 4,7	0,5 – 1,2	0,5 – 1,2	< 0,1	< 0,3	< 0,1
Интервал времени между двумя изменениями напряжения ΔT, с	5 – 100	5 – 100	5 – 100	> 600	> 600	> 600

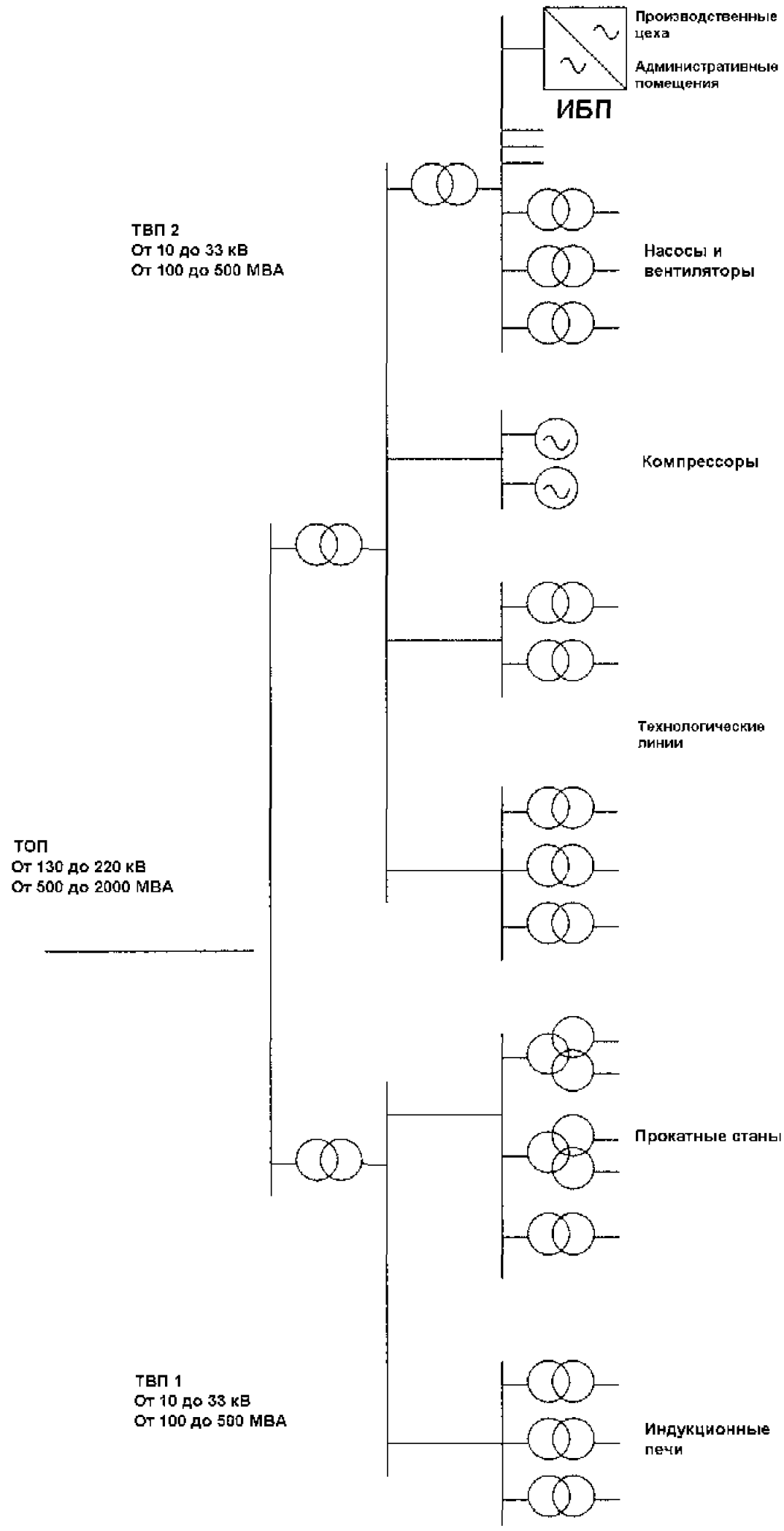


Рисунок В.1 – Пример системы электроснабжения в металлопрокатном производстве

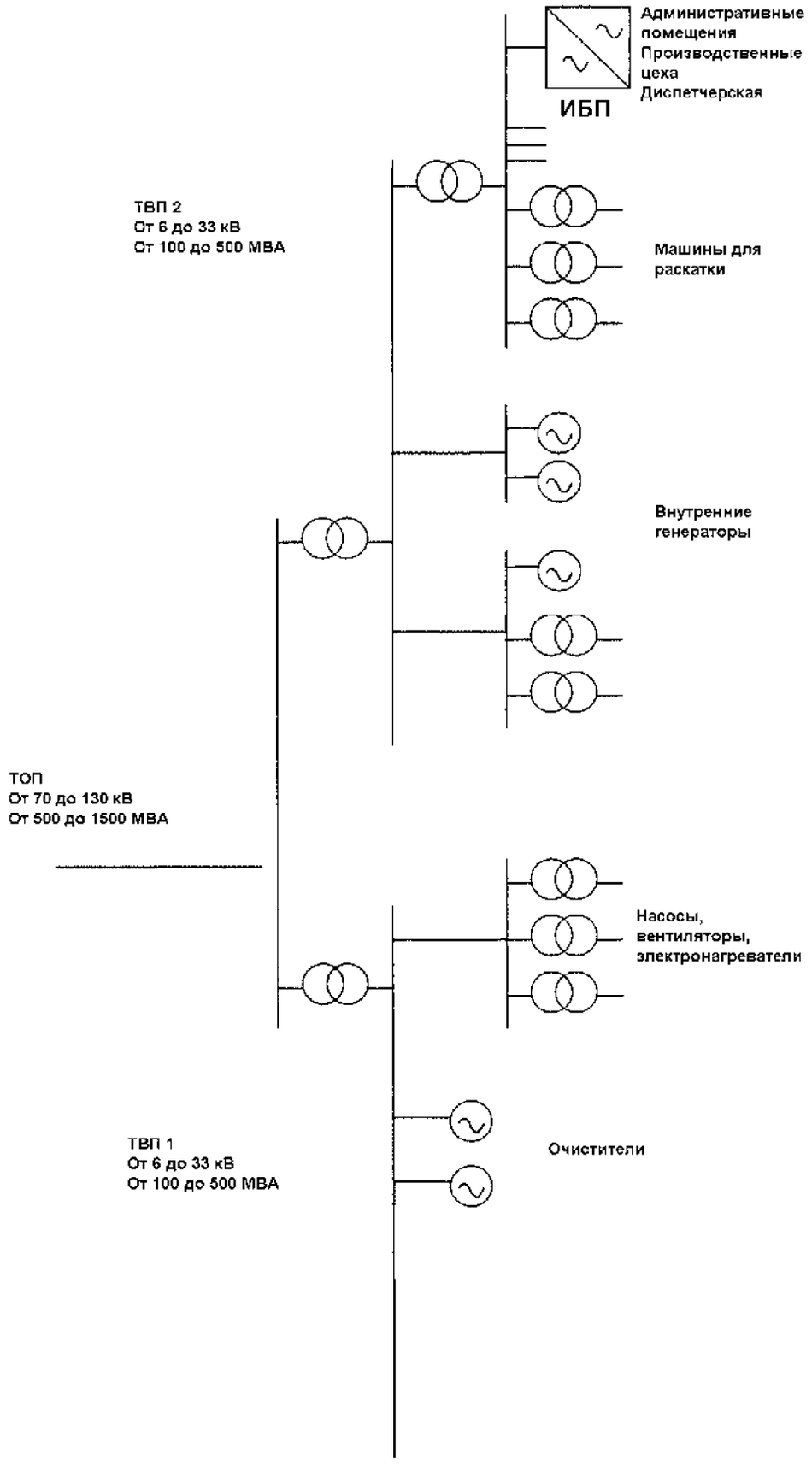


Рисунок В.2 – Пример системы электроснабжения в бумажной промышленности

B.2 Уровни напряжения помех в промышленных сетях электроснабжения при высоких нагрузках

Диапазон данных значений зависит от принятого диапазона изменения параметров системы и от совпадения коэффициентов.

Поскольку силовые конденсаторы отсутствуют, возможным увеличением гармонических составляющих напряжения пренебрегают.

Таблица B.2 – Уровни напряжения помех в типовой схеме электроснабжения перерабатывающей промышленности

	Полное сопротивление, 1/МВА[a)]	Уровень короткого замыкания, МВА	Полная нагрузка, МВА	Нагрузка преобразователей, МВА	Суммарный коэффициент гармоник, %	Изменение напряжения, %
Линия 130 кВ	1/2000	2000				
Трансформатор TA	1/320	275,8				
Кабель MV	1/6000					
ТВП		266,6	2,3	1,25	1,08	0,6
Трансформатор T1	1/8,9					
Линия LV1		8,6	0,3	0,05	1,34	2,4
Трансформатор T5	1/1,25					
Преобразователь C1		1,09		0,05	10,6	
Трансформатор T3	1/12					
Линия LV2		11,5	0,6	0,3	5,0	3,0
Двигатель 350 кВА		2,275	0,3			
Катушка индуктивности 60 мкГн	1/8,5					
Преобразователь C2		5,25		0,3	13,2	
Трансформатор T4	1/22,2					
Линия LV3		20,5	0,9	0,9	10,1	3,1
Кабель 400 В	1/582					
Преобразователи C3 ... C10		20		0,9	10,4	

[a)] Полное сопротивление в относительных единицах на 1 МВА.

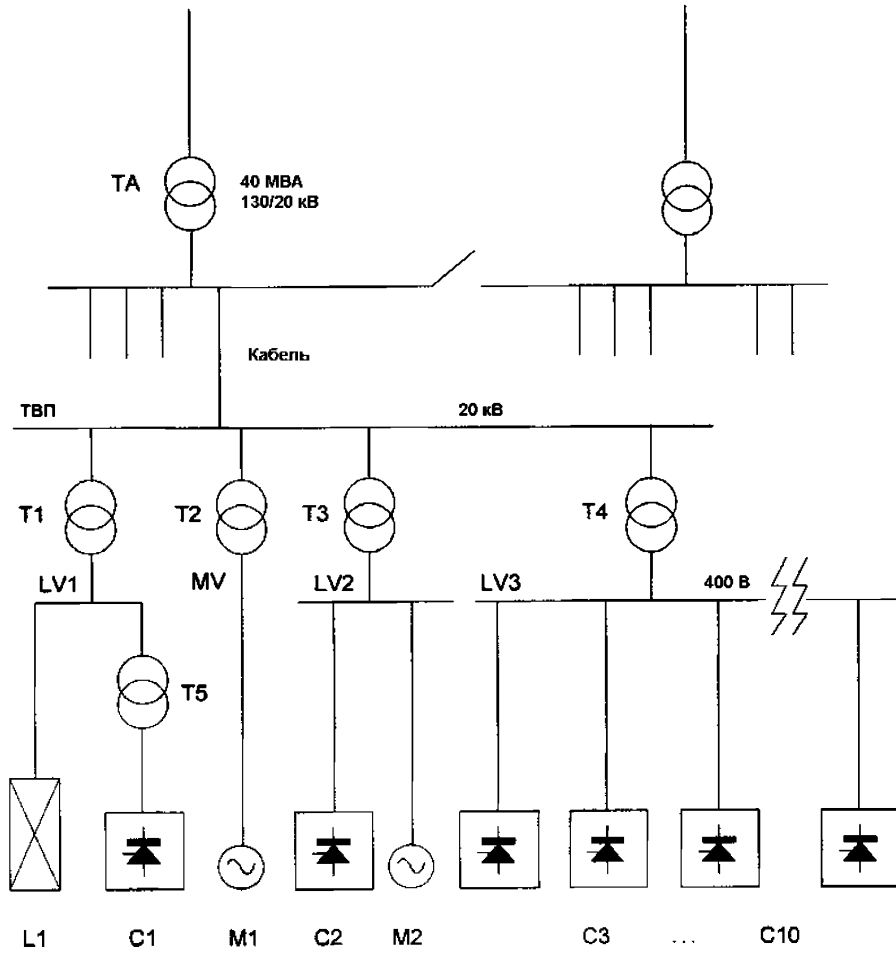


Рисунок В.3 – Пример системы электроснабжения в перерабатывающей промышленности

В.3 Провалы напряжения и короткие перерывы в подаче электропитания

В.3.1 Описание

Провалы напряжения и короткие перерывы в подаче электропитания в ТОП имеют большое влияние на процессы в установке. Это непредсказуемые, в значительной степени случайные события, возникающие главным образом из-за электрических сбоев в системе электропитания или больших установках. Они лучше всего описаны в статистических терминах (см. МЭК 61000-2-8).

Провалы напряжения – двухмерное явление помех, при котором с увеличением помех возрастают глубина и продолжительность падения напряжения.

Глубина провалов напряжения зависит от близости точки снятия показаний к точке в сети, в которой происходит короткое замыкание. В этой точке провал напряжения приближается к нулю, т. е. глубина падения напряжения стремится к 100 %. В других случаях, которые могут стать причиной провала напряжения (например, большого колебания нагрузки), глубина провала может быть меньше.

В случае длительности провала напряжения меньше чем 0,1 с он может быть устранен с помощью быстродействующей системы защиты или самоустраниться. Если повреждение затрагивает более низкий уровень сети и устраняется системами защиты, используемыми на этих сетях, это может длиться до нескольких секунд. В большинстве случаев провалы напряжения имеют длительность от половины периода до 1000 мс.

Глубина провала напряжения существенна только тогда, когда устойчивость данного устройства недостаточна при значительной длительности падения напряжения с большой глубиной. Эта величина становится важной при выборе соответствующего уровня защиты от воздействия данного процесса. Значение для определенной линии включает провалы напряжения, произведенные сбоями на других линиях и сбоями в той же самой сети, и провалы напряжения, полученные от электросетей, питающих данную линию (см. также МЭК 61000-2-8).

В сельской местности, использующей воздушные линии электропередачи, количество провалов напряжения может достигать нескольких сотен в год, в частности, это зависит от числа ударов молний и других метеорологических явлений в атмосфере.

По самой последней информации, в кабельных сетях частный потребитель электроэнергии, использующий низковольтное оборудование, может подвергаться воздействию падений напряжения, количество которых обычно находится в пределах от десяти до ста раз в год, в зависимости от местных условий. Длительность этих провалов напряжения – обычно между половиной периода и 3 с.

Короткие перебои в подаче электроэнергии длятся до 180 с в зависимости от типа переключений или системы передачи электроэнергии, используемой в воздушных сетях. В отдельных случаях возможно уменьшение времени. Часто коротким перерывам в подаче электроэнергии предшествуют провалы напряжения. Различие между провалом напряжения и коротким перерывом может быть трудно определяемо. По согласованию удержание напряжения ниже заданного уровня (например, 10 %) может быть критерием для определения этого различия. Но в трехфазной системе это условие применяется к каждой из фаз одновременно и может быть рассмотрено как короткий перерыв в подаче электропитания.

B.3.2 Адаптация

Главное условие для уровней совместимости заключается в согласованности с уровнями устойчивости. Но уровень совместимости должен быть выражен двухмерным способом для отражения уровня помех. Из-за недостатка данных это не может быть выполнено.

В случае коротких перерывов в подаче электроэнергии, а также для более длительных перерывов напряжения справедливо то, что понятие «устойчивость электрического оборудования» относительно, так как никакое электрическое устройство не может продолжить работать правильно при отсутствии электропитания. Поэтому устойчивость от этих помех осуществляется путем или быстрого восстановления подачи электроэнергии из альтернативного источника, или принятия мер к тому, чтобы оборудование и связанные с ним процессы были приспособлены к кратким перебоям в подаче электроэнергии или уменьшению мощности. Это сложный вопрос с точки зрения технических и экономических факторов и не входит в рамки данного стандарта (см. библиографию).

Величины, описывающие провалы напряжения и короткие перерывы в подаче электроэнергии для класса 3 ТВП, могут быть определены с учетом следующего:

– уровни помех для ТОП предприятия могут быть приняты, но нужно помнить, что эти уровни могут значительно изменяться в зависимости от типа системы электроснабжения, высокого напряжения или среднего напряжения через воздушные линии или кабели одиночных или двойных цепей, например, расположенных на месте, подверженном воздействию молний;

– наличие на предприятии генератора может уменьшить степень провалов напряжения и кратковременных перебоев в подаче электроэнергии;

– влияние промышленного предприятия на провалы напряжения или перерывы в подаче электроэнергии можно рассматривать, например, как последствия серьезных сбоев, больших провалов напряжения, которые могут быть вызваны одновременным запуском нескольких асинхронных двигателей на предприятии;

– короткие провалы в подаче электропитания для класса 3 ТВП относятся только к предприятиям, питающимся от одной линии подачи электроэнергии.

Это может быть принято на основании МЭК 61000-2-8.

B.4 Импульсные скачки напряжения

Многие явления, включая влияние выключателей и плавких предохранителей и удары молнии вблизи сетей энергоснабжения, вызывают импульсные скачки напряжения в низковольтных системах электропитания и в установках, связанных с ними. Скачки напряжения могут быть колебательные или неколебательные, могут хорошо гаситься и имеют время нарастания в пределах от менее 1 мкс до нескольких миллисекунд.

Амплитуда, продолжительность и содержимое импульсных скачков напряжения изменяются в зависимости от их происхождения. Скачки атмосферного происхождения имеют более высокую величину, а скачки, возникающие от переключений, более продолжительны и высокоэнергетичны. Чувствительное оборудование должно быть защищено каскадом защитных устройств, которые должны выбираться так, чтобы выдержать большие скачки напряжения, возникающие при переключениях.

Переключение конденсаторных батарей – распространенная причина импульсных скачков напряжения. Как правило, их величина в точке действия вдвое меньше величины номинального напряжения. Но отражение волны и усиление напряжения все же могут произойти, поскольку импульсные скачки напряжения распространяются по линии, усиливая скачки напряжения на присоединенном оборудовании.

На рисунке B.4 показан пример кривой устойчивости для промышленного оборудования, которое питается от однофазного напряжения 120 В. Другие типы оборудования могут иметь другие кривые устойчивости.

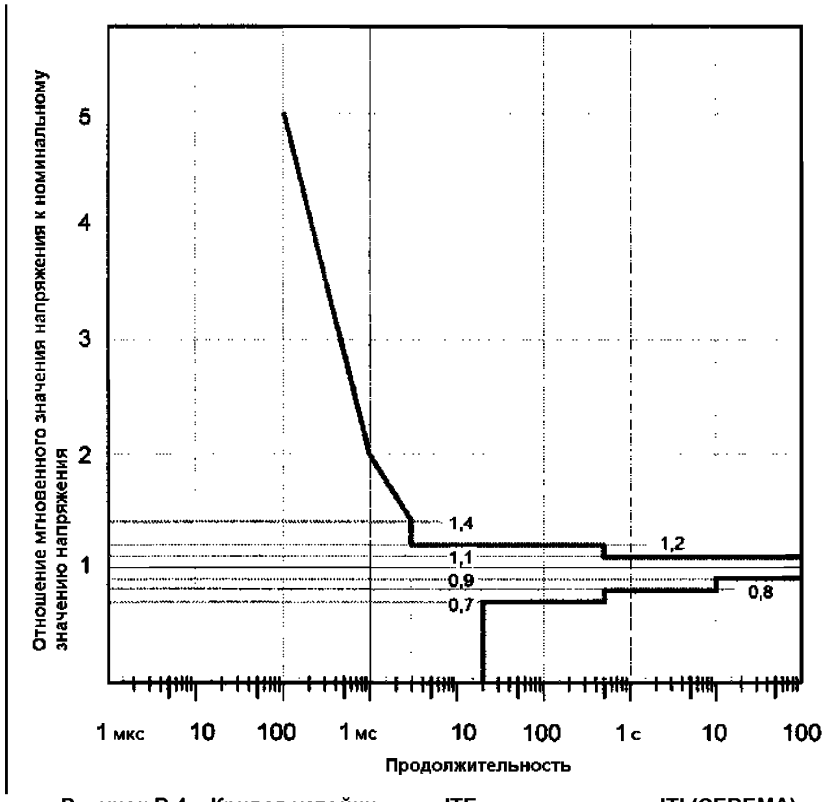


Рисунок B.4 – Кривая устойчивости ITE по отношению к ITI (CEBEMA)

В низковольтных сетях были зарегистрированы переходные процессы атмосферного характера с амплитудой до 6 кВ. Необходимо учитывать это значение при выборе изоляции.

Принимая во внимание то, что ослабление (потери) между ТОП и разъемом для подключения оборудования недостаточно определены на практике, а также то, что 100 %-ная помехоустойчивость – это дорогостоящее мероприятие (и практически недостижимое), необходимо определить максимально достижимый уровень электромагнитной совместимости.

Скачки напряжения в общей электросети могут быть уменьшены в месторасположении ТВП в оборудовании.

Приложение С
(справочное)

Межгармоники и напряжения высокой частоты

С.1 Источники межгармоник

С.1.1 Определение

Источниками межгармоник могут быть низковольтные сети электроснабжения, равно как сети среднего и высокого напряжения. Межгармоники, возникающие в результате работы низковольтного оборудования (сварочного оборудования, преобразователей, асинхронных двигателей), в основном оказывают влияние на устройства, находящиеся в непосредственной близости; межгармоники, возникающие в сетях среднего и высокого напряжения (создаваемые дуговыми печами, асинхронными двигателями, преобразователями), передаются в низковольтные сети, от которых они питаются.

Фоновый гауссовский шум низкого уровня в виде спектра равномерной непрерывной частоты возникает в низковольтных сетях даже при отсутствии непосредственного источника межгармоник. В сети 230 В наиболее распространены помехи, возникающие в диапазоне от 40 до 50 мВ и измеряющиеся с помощью фильтра с полосой пропускания 10 Гц, а в диапазоне от 20 до 25 мВ при измерении с помощью фильтра с полосой пропускания 3 Гц.

Можно выделить четыре основных источника межгармоник:

– дуговые печи, дуговые сварочные аппараты, плазменные нагреватели, являющиеся основными источниками межгармоник или субгармоник, которые возникают непосредственно при работе этих аппаратов и/или при управлении положением электродов, при этом ни один из них не синхронизируется с частотой сети электропитания;

– силовые преобразователи с активной частью, подключенной к сети, используемые при переключении частот, которые являются межгармоническими частотами; такое переключение создает напряжения или токи межгармоник;

– погрешности соединения между контурами, основные частоты которых отличаются; это касается электронных преобразователей частоты;

– специально созданные для генерации напряжения в межгармонических частотах.

С.1.2 Различные типы источников межгармоник

С.1.2.1 Случайные источники

Дуговые сварочные аппараты создают непрерывный широкий спектр помех, связанный с прерывистым режимом работы, при котором продолжительность одной операции сварки колеблется от одной до нескольких секунд. Эти помехи возникают в низковольтной электросети, а в электросетях с низким полным сопротивлением вызывают эффект пульсации.

Дуговые печи создают непрерывный, но изменяющийся случайным образом спектр межгармонических частот, связанный с неравномерностью потребляемого тока. Высокая мощность (от 50 до 120 МВт) связывает их с электросетями высокого и среднего напряжения. Стадия начала процесса плавки сопровождается наиболее высоким уровнем излучения.

С.1.2.2 Субгармоники или межгармоники, возникающие от нагрузки преобразователей

Электронные преобразователи частоты ведут себя по-разному в зависимости от их структуры (конструктивного решения). Прямые преобразователи типа понижающих преобразователей частоты, состоящие из полупроводников и их вспомогательных цепей, которые при циклическом переключении преобразовывают входное напряжение основной частоты электросети в выходное напряжение основной частоты, которое измеряется с помощью контрольного устройства с точки зрения достаточного питания нагрузки. (Нагрузка может представлять собой двигатель с регулируемой скоростью или отдельную сеть с фиксированной частотой, например 25 или 16 Гц 2/3.) Эти понижающие преобразователи частоты не предназначены для разъединения двух основных частот. Поэтому токи с частотами, отличными от частоты нагрузки, протекают непосредственно от фазы электропитания преобразователя. Этот ток с частотой сети электропитания (с обычными гармониками) и амплитудой, модулированной в зависимости от частоты нагрузки.

Примечание – Например, если понижающий преобразователь частоты питает трехфазную семеричную нагрузку с частотой f_L, линейные токи согласуются в каждой фазе в точке разъединения трех многофазных преобразователей (коэффициент пульсации p), питая каждую фазу трехфазной нагрузки. Совокупность токов может быть приблизительно оценена через полную активную и полную реактивную мощность. В случае активной нагрузки и в предположении идеального преобразователя полная активная мощность является

постоянной (неизменной величиной), полная реактивная мощность также является константой, к которой добавляется переменная составляющая небольшой амплитуды частоты $2pf_L$. В случае реактивной нагрузки и в предположении идеального преобразователя полная реактивная мощность является константой. Токи, являющиеся результатом этих совокупностей, содержат в себе модуляцию частоты $2pf_L$ и ее составляющих. Дополнительные межгармонические токи являются результатом нелинейной передачи, имеющей целью оптимизацию параметров, так же как и неизбежных погрешностей системы.

Косвенные преобразователи частоты представляют собой промежуточную связь при постоянном токе на сетевом входе преобразователя (чаще всего работающего как инвертор) и на выходе нагрузки. Для этих двух устройств с источниками тока и напряжения связь при постоянном токе включает в себя фильтр, разделяющий ток или напряжение между питающей сетью и нагрузкой. В результате этого две основные частоты (сети и нагрузки) оказываются разъединены. Но 100 %-ной эффективной фильтрации не существует: из этого следует, что токи в сети электропитания с определенной частотой оказывают влияние на связь между постоянным током сети и нагрузки. Эти частоты являются межгармоническими и субгармоническими в сети электропитания. Однако необходимо подчеркнуть, что это явление, как правило, оказывает незначительное влияние на преобразователи напряжения.

Для электронных преобразователей частоты, включающихся в электросеть, межгармоники и субгармоники возникают в основном в диапазоне частот от 0 до 150 или 300 Гц. Это соответствует основной частоте нагрузки, которая часто является причиной изменения частоты. Самый высокий диапазон частот – до 2500 Гц – имеет гораздо меньшую амплитуду. Основной сложностью является то, что эти межгармоники и субгармоники возникают не на определенной установленной частоте.

Некоторые полупроводниковые преобразователи, используемые для питания отдельных сетей с фиксированной частотой, также создают межгармоники и субгармоники на определенной частоте.

Частоту гармоник и межгармоник некоторых преобразователей с входной основной частотой f и выходной основной частотой F можно определить с помощью формулы

$$f_{h,m} = [(p_1 \times k_1) \pm 1] \times f \pm [(p_2 \times k_2)] \times F,$$

где p_1 – коэффициент пульсации на входе преобразователя;

p_2 – коэффициент пульсации на выходе преобразователя;

k_1, k_2 – выбираются из ряда целых чисел (0, 1, 2, 3, ...), и если $k_2 = 0$, то $f_{h,m} = f_h$ (гармоническая частота).

С.1.2.3 Субгармоники и межгармоники, возникающие в результате внутренних процессов в преобразователе

Некоторые самокоммутирующиеся преобразователи имеют активную часть для подключения к сети (с использованием транзисторов или понижающих тиристоров), частота переключения которых не является целым числом, кратным частоте сети. Эта частота переключения может быть постоянной или переменной в зависимости от характеристик непосредственно преобразователя. Каждое переключение изменяет направление тока, таким образом показывая нелинейность сети. Это создает межгармоническое напряжение, которое накладывается на напряжение сети при условии, что внутреннее полное сопротивление контуров переключения преобразователя ниже полного внутреннего сопротивления сети. Также это может создавать межгармонические токи, если внутреннее полное сопротивление контуров переключения преобразователя выше внутреннего полного сопротивления сети. Межгармонические частоты связаны с частотой переключения и находятся в диапазоне от нескольких сотен герц до нескольких десятков килогерц.

С.1.2.4 Другие источники

Асинхронные двигатели производят переменный намагничивающий ток из-за щели между статором и ротором, возможно вместе с насыщением железа, что создает межгармонические токи в низковольтной сети. При нормальной скорости работы двигателя помехосоздающие частоты находятся в диапазоне от 10 до 40, но в период запуска (старта) они проходят по всему диапазону частот до их конечного значения.

Передатчики централизованного телеуправления создают напряжение с заранее установленной межгармонической частотой. Описание и область применения передатчиков телеуправления приведены в МЭК 61000-2-2 (подраздел 4.7). Их диапазон частот – от 110 до 3000 Гц с максимальным относительным напряжением U_S/U_N до 9 % и до 500 Гц с уменьшением (20 дБ на декаду) в диапазоне от 500 до 3000 Гц (1,5 %). Другие системы передачи сигнала в сети работают в диапазоне более высоких частот (от 3 до 20 кГц и от 20 до 148,5 кГц).

С.1.3 Эффекты межгармоник и совместимости

Межгармоники вносят непериодические и квазинепериодические явления, которые накладываются на форму периодической волны напряжения в сети. Поэтому амплитудное значение напряжения изменяется на более низкой частоте, где разница между частотами создает помехи. Любое использование электроэнергии, для которого важно максимальное напряжение, будет нарушено (прервано). Телевизионные приемники, например, могут иметь помехи, а осветительные приборы могут мерцать.

Можно ожидать, что межгармоники могут оказывать негативное влияние на работу передатчиков централизованного телеуправления. Принимая во внимание различное ослабление между источником и приемником в сети электропитания, минимальный порог срабатывания принимают как можно меньше 0,3 %. Поэтому необходимо, чтобы пользователи такого электрооборудования знали, будет ли работать определенное устройство телеуправления в той зоне, где оно установлено, и на какой частоте функционирует данное устройство. Речь идет о минимальном объеме информации, необходимой для обеспечения электромагнитной совместимости.

Частоты межгармонического тока могут передаваться без ограничений в широком диапазоне частот. Результирующее значение напряжения межгармоники определяется током и импедансом на установленной частоте. Наиболее опасное проявление – возможность возбуждения антирезонансных частот пассивных фильтров или компенсирующих конденсаторов, которые подключены к сети.

С.1.4 Руководство по выбору уровней

С.1.4.1 Уровни, связанные с фликер-эффектом

В 5.7 настоящего стандарта рассмотрен случай напряжения, при котором составляющая межгармонической частоты соединяется с составляющей основной частоты, создавая при этом частоту биения. В таблице С.1 представлены уровни напряжений межгармоник, соответствующие уровням электромагнитной совместимости, представленным на рисунке 1.

Таблица С.1 – Справочные значения напряжений межгармоник в низковольтных сетях, соответствующие фликер-эффекту

Диапазон m	Частота сети 50 Гц			Частота сети 60 Гц		
	Межгармоническая частота f_m, Гц	U_m, %		Межгармоническая частота f_m, Гц	U_m, %	
		Сеть 120 В	Сеть 230 В		Сеть 120 В	Сеть 230 В
$0,20 < m \le 0,60$	$10 < f_m \le 30$	0,68	0,51	$12,0 < f_m \le 36,0$	0,95	0,69
$0,60 < m \le 0,64$	$30 < f_m \le 32$	0,57	0,43	$36,0 < f_m \le 38,4$	0,79	0,58
$0,64 < m \le 0,68$	$32 < f_m \le 34$	0,46	0,35	$38,4 < f_m \le 40,8$	0,64	0,48
$0,68 < m \le 0,72$	$34 < f_m \le 36$	0,37	0,28	$40,8 < f_m \le 43,2$	0,50	0,38
$0,72 < m \le 0,76$	$36 < f_m \le 38$	0,29	0,23	$43,2 < f_m \le 45,6$	0,39	0,30
$0,76 < m \le 0,84$	$38 < f_m \le 42$	0,23	0,18	$45,6 < f_m \le 50,4$	0,23	0,18
$0,84 < m \le 0,88$	$42 < f_m \le 44$	0,23	0,18	$50,4 < f_m \le 52,8$	0,22	0,18
$0,88 < m \le 0,92$	$44 < f_m \le 46$	0,28	0,24	$52,8 < f_m \le 55,2$	0,22	0,20
$0,92 < m \le 0,96$	$46 < f_m \le 48$	0,40	0,36	$55,2 < f_m \le 57,6$	0,34	0,30
$0,96 < m \le 1,04$	$48 < f_m \le 52$	0,67	0,64	$57,6 < f_m \le 62,4$	0,59	0,56
$1,04 < m \le 1,08$	$52 < f_m \le 54$	0,40	0,36	$62,4 < f_m \le 64,8$	0,34	0,30
$1,08 < m \le 1,12$	$54 < f_m \le 56$	0,28	0,24	$64,8 < f_m \le 67,2$	0,22	0,20
$1,12 < m \le 1,16$	$56 < f_m \le 58$	0,23	0,18	$67,2 < f_m \le 69,6$	0,22	0,18
$1,16 < m \le 1,24$	$58 < f_m \le 62$	0,23	0,18	$69,6 < f_m \le 74,4$	0,23	0,18
$1,24 < m \le 1,28$	$62 < f_m \le 64$	0,29	0,23	$74,4 < f_m \le 76,8$	0,39	0,30
$1,28 < m \le 1,32$	$64 < f_m \le 66$	0,37	0,28	$76,8 < f_m \le 79,2$	0,50	0,38
$1,32 < m \le 1,36$	$66 < f_m \le 68$	0,46	0,35	$79,2 < f_m \le 81,6$	0,64	0,48
$1,36 < m \le 1,40$	$68 < f_m \le 70$	0,57	0,43	$81,6 < f_m \le 84,0$	0,79	0,58
$1,40 < m \le 1,80$	$70 < f_m \le 90$	0,68	0,51	$84,0 < f_m \le 108,0$	0,95	0,69

С.1.4.2 Основные уровни

Уровни, указанные в таблице 4, соответствующие своему диапазону, могут служить справочными значениями межгармонических частот.

Уровни, соответствующие классу 2, установлены с учетом наличия устройств централизованного телеуправления. Уровень электромагнитной совместимости, соответствующий классу 3, может быть определен как значение, измеренное в промышленных электросетях, которые, как правило, не содержат передатчиков централизованного телеуправления, осветительного оборудования или передатчиков телевизионных сигналов.

Примечание – Если такое оборудование и подключено к промышленной сети электропитания, то оно не соединено непосредственно с контуром 3-го класса. В части способов ослабления (уменьшения) – см. С.2.

Там, где существует вероятность вмешательства в системы передачи сигналов в электросети, системы централизованного телеуправления и другое специфическое, чувствительное к помехам оборудование, должна быть предусмотрена защита от межгармоник, а также предпочтительным является выбор уровня класса 2. Для этого класса частота функционирования передатчиков системы централизованного телеуправления зависит от места установки. Уровень передачи может быть достаточно низким – 0,3 % от номинальной частоты электросети. В работу приемника также могут быть внесены помехи от случайного межгармонического напряжения, если его величина превышает значение на собственной частоте функционирования.

Уровень межгармонической совместимости на частоте функционирования систем передачи сигналов в сети или систем централизованного телеуправления не установлен. На частоте функционирования уровень излучения должен быть ограничен 0,2 % от номинального напряжения сети электропитания, и устойчивость оборудования должна быть определена исходя из конкретных характеристик соответствующих передатчиков, а также условий в сети. См. МЭК 61000-2-2 (пункт 4.7.1).

Использование условий класса 3 требует дополнительного изучения в части определения способов подключения между условиями класса 3 и общей сетью электропитания или в части определения систем разъединения.

Высокий уровень межгармоник может иметь место в ТВП класса 3, особенно при использовании некоторых видов преобразователей. Они могут превышать 2,5 % для частот ниже 11-го порядка и 1 % – для уровня выше 25-го. В зависимости от источника эти значения могут колебаться и быстро изменяться по амплитуде и частоте. По этой причине они могут приводить к возникновению резонанса в батареях конденсаторов и пассивных фильтрах.

Примечание – В связи с тем что для изменения мощности в промышленных сетях используются конденсаторы, то они должны быть согласованы с сетью посредством катушек индуктивности, особенно те, которые связаны с ТВП класса 3.

С.2 Способы уменьшения излучения

Применяется целый комплекс мер по уменьшению излучения преобразователей мощности. Там, где используется чувствительное к помехам оборудование, возможное решение проблемы состоит в использовании эффективной системы разъединения между контурами, питающими чувствительное оборудование, и контурами, питающими преобразователи мощности с помощью фильтров или даже ИБП.

Так как цель преобразования мощности состоит в создании регулируемой основной частоты, можно ожидать наличия широкого спектра межгармонических частот. Основной сложностью является то, что межгармоники возникают по всему спектру, когда преобразователь работает на переменной частоте.

Межгармоники такого происхождения делают невозможным использование эффективного разъединения между входом и выходом преобразователя. Составляющие наибольшей амплитуды встречаются на низких или очень низких частотах.

Другой тип межгармоник возникает из-за внутренних процессов в преобразователе. Наиболее известный пример: широтно-импульсный модулятор (ШИМ) вызывает излучение межгармоник на соответствующей частоте переключения, которая управляет составными частями полупроводников. Эта частота переключения может быть фиксированной или регулируемой в зависимости от способа управления. Межгармоники такого типа возникают на более высоких частотах, чем предыдущие. Как правило, их проще фильтровать.

С.2.1 Уменьшение уровней излучения

Предпочтительное использование косвенных преобразователей облегчает простейшую фильтрацию межгармоник, возникающих в результате преобразования мощности для создания переменной частоты. Простейшая фильтрация может быть обеспечена путем увеличения эффективности внутренней фильтрации, присутствующей в конструктивном исполнении преобразователя. Увеличение разъединения между выходом и входом позволяет уменьшить амплитуду межгармонических токов.

В случае преобразователей большой мощности это не является эффективным решением проблемы, но должно быть изучено как альтернатива внешней фильтрации. Внешняя фильтрация может быть использована как пассивная или активная.

Пассивная фильтрация требует особого внимания к ширине спектра излучения, особенно когда межгармоника находится во всем спектре частоты. Вероятность возбуждения антирезонанса настолько высока, что если используются пассивные фильтры, то они должны быть отключены. Вообще, оборудование высокой мощности требует внимательного и детального исследования для того, чтобы определить необходимую систему фильтрации. Кроме того, пассивные фильтры не могут использоваться независимо друг от друга или независимо от системы компенсации реактивной энергии. Поэтому если предусматривается использование пассивной фильтрации, то должна быть исследована вся установка полностью.

Активная фильтрация может обеспечить эффективный результат, особенно в диапазоне низких и очень низких частот. Эта фильтрация эффективна как для субгармоник, так и для межгармоник. Основное преимущество активной фильтрации состоит в том, что она является автоадаптируемой к фильтруемой частоте. Особенностью ее управления является то, что оно предназначено для первичного удаления гармонических составляющих компенсируемого тока или гармонических составляющих фильтруемого сигнала напряжения. Второй функцией управления полупроводниковых приборов является компенсация или фильтрация с помощью ШИМ, адаптированного к определенному уровню мощности. Поэтому в отличие от пассивных фильтров, которые настроены на определенный диапазон, активные фильтры можно использовать как широкополосные. Они обеспечивают ослабление гармоники или межгармоники излучения выше нескольких килогерц, не оказывая влияния на напряжение или ток основной частоты.

Преобразователи, работающие с ШИМ, создают межгармоническое излучение на частоте, связанной с частотой переключения, которая может быть подвергнута фильтрации при необходимости.

С.2.2 Увеличение устойчивости

В технических требованиях к продукции устанавливаются требования к помехоустойчивости с рекомендуемыми уровнями электромагнитной совместимости. Однако, с учетом того, что уровни электромагнитной совместимости находятся на стадии исследования, или того, что нет соответствующих требований к продукции, может быть использована соответствующая фильтрация контролируемой части подверженного воздействию помех чувствительного оборудования. Для оборудования, которое должно быть синхронизировано с системой электропитания, соответствующая фильтрация может быть ограничена контуром синхронизации посредством полосного фильтра, настроенного на основную частоту. Как правило, такое решение затрагивает маломощные контуры.

Наиболее эффективным решением остается соответствующее разделение контуров электропитания в зависимости от использования. В промышленной сети это разделение обязательно должно быть установлено между производственными и административными помещениями, а также в пределах производственных помещений между различными нагрузками, которые должны быть классифицированы. Этот способ разделения облегчает определение правильного разделения и фильтрации всего комплекса оборудования с целью нахождения наилучшего технико-экономического баланса.

С.2.3 Защита устройств централизованного телеуправления

Распределитель энергии должен обеспечивать определение частоты, на которой работает система централизованного телеуправления или система передачи сигнала в сети.

Должны быть рассмотрены два аспекта ТОП оборудования:

– максимально допустимое для всего комплекса оборудования излучение, но при условии, что система сигнализации не затронута;

– минимальное полное сопротивление, приемлемое для функционирования передающих систем сигнализации на определенной частоте этой системы.

Если используется пассивная фильтрация или устройство разделения, то должна приниматься во внимание возможность возникновения антирезонанса, вызванного межгармониками на переменной частоте.

С.3 Напряжения на более высоких частотах

Искажение формы сигнала напряжения в полосе частот выше 50-й гармоники и меньше 9 кГц представлено составляющими синусоидальной формы, которые могут возникать как на дискретных частотах, так и в относительно широкой полосе частот. В случае напряжения на более высоких частотах не существенно, являются они гармоникой или межгармоникой.

Для дискретной частоты в диапазоне выше 50-й гармоники и до 9 кГц уровни электромагнитной совместимости могут быть выражены как отношение u среднеквадратического значения напряжения на этой частоте к среднеквадратическому значению основной составляющей напряжения.

Для полосы частот выше 50-й гармоники и до 9 кГц уровни, соответствующие какой-либо полосе шириной 200 Гц, с частотой в центре полосы F, определяются следующим образом:

$$u_b = \frac{1}{V_{1N}} \times \sqrt{\frac{1}{200}} \times \int_{F-100}^{F+100} V^2(f) \times df,$$

где V_{1N} – действующее значение основной составляющей напряжения;

$V(f)$ – действующее значение напряжения на частоте f;

F – частота в центре полосы (полоса выше 50-й гармоники), Гц.

Практика показала, что в промышленных электросетях имеют место уровни выше 80 % или 90 % от установленного начального уровня:

u = 0,2 % для ТВП класса 2;

u = 1 % для ТВП класса 3;

u_b = 0,3 % для ТВП класса 2;

u_b = 1,5 % для ТВП класса 3.

Очень малое количество нарушений функционирования было зарегистрировано в сетях с уровнями, превышающими вышеприведенные значения.

Библиография

IEC 60038: 1983 (МЭК 60038:2002)	IEC standard voltages (Эталонное напряжение МЭК)
IEC 60050-551-20:2001 (МЭК 60050-551-20:2001)	International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 551-20: Power electronics – Harmonic analysis (Международный электротехнический словарь (МЭС). Часть 551-20. Силовая электроника. Гармонический анализ)
IEC 61000-2-1:1990 (МЭК 61000-2-1:1990)	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 1: Description of the environment – Electromagnetic environment for low frequency conducted disturbances and signalling in public power supply systems (Электромагнитная совместимость. Часть 2. Условия окружающей среды. Раздел 1. Описание условий окружающей среды. Электромагнитная обстановка, влияющая на низкочастотные проводимые помехи и прохождение сигналов в системах)
IEC/TR 61000-2-8 (МЭК 61000-2-8:2002)	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-8: Environment: Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 2-8. Окружающая среда. Провалы напряжения и короткие перерывы в подаче питания в коммунальных системах электроснабжения и результаты статистического наблюдения)
IEC 61000-3-6:1996 (МЭК 61000-3-6:1996)	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems. Basic EMC Publication (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3. Пределы. Раздел 6. Оценка пределов излучения для искажающих нагрузок в электрических системах средних и высоких напряжений. Базовая публикация по ЭМС)
IEC 61000-3-7:1996 (МЭК 61000-3-7:1996)	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 7: Assessment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems. Basic EMC Publication (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3. Пределы. Раздел 7. Оценка пределов излучения для флуктуационных нагрузок в электрических системах средних и высоких напряжений. Базовая публикация по ЭМС)
IEC 61000-4-7:1991 (МЭК 61000-4-7:2002)	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 7: General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-7. Методы испытаний и измерений. Общее руководство по измерительной аппаратуре и измерениям гармоник и межгармоник в системах электропитания и подключаемом оборудовании)
IEC 61000-4-15:1997 (МЭК 61000-4-15:2003)	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 15: Flickermeter – Functional and design specifications (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-15. Методы испытания и измерения. Фликкерметр. Функциональные требования и технические нормы на проектирование)
IEEE Std 1346-1998 (IEEE Std 1346-1998)	IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment (Практические рекомендации по оценке совместимости систем электропитания с электронным оборудованием)

Ответственный за выпуск В.Л. Гуревич

Сдано в набор 05.12.2005. Подписано в печать 11.01.2006. Формат бумаги 60×84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Arial. Печать ризографическая. Усл. печ. л. 3,26 Уч.- изд. л. 1,97 Тираж экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение
НП РУП «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации (БелГИСС)»
Лицензия № 02330/0133084 от 30.04.2004.
220113, г. Минск, ул. Мележа, 3.

gost.e-ecolog.ru