МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 61800-3— 2016

СИСТЕМЫ СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ СКОРОСТЬЮ

Часть 3

Требования к электромагнитной совместимости и специальные методы испытаний

(IEC 61800-3:2012, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Научно-производственным республиканским унитарным предприятием «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС) на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 28 июня 2016 г. № 49)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 августа 2021 г. № 887-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 61800-3—2016 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2023 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 61800-3:2012 «Системы силовых электрических приводов с регулируемой скоростью. Часть 3. Требования к электромагнитной совместимости и специальные методы испытаний» («Adjustable speed electrical power drive systems — Part 3: EMC requirements and specific test methods», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом IEC/TC 22/SC 22G «Регулируемые скоростные системы электроприводов с полупроводниковыми силовыми преобразователями» Международной электротехнической комиссии (IEC).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© IEC, 2012
© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2021



В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины и определения 5
4 Общие требования 10
5 Требования помехоустойчивости 11
6 Требования электромагнитной эмиссии 24
Приложение А (справочное) Методы ЭМС 35
Приложение В (справочное) Низкочастотные электромагнитные помехи 43
Приложение С (справочное) Компенсация реактивной мощности. Фильтрация 68
Приложение D (справочное) Рассмотрение высокочастотных электромагнитных помех 76
Приложение Е (справочное) Анализ электромагнитной совместимости и план ЭМС 81
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 89
Библиография 92

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

СИСТЕМЫ СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ СКОРОСТЬЮ

Часть 3

Требования к электромагнитной совместимости и специальные методы испытаний

Adjustable speed electrical power drive systems. Part 3. EMC requirements and specific test methods

Дата введения — 2023—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования электромагнитной совместимости (ЭМС) к системам электрического привода (СЭП) в соответствии с определением 3.1, предназначенным для регулирования скорости вращения электрических двигателей переменного и постоянного тока. Требования установлены к СЭП с преобразователями входного и/или выходного напряжений переменного тока (напряжение «линия — линия») до 35 кВ (среднеквадратическое значение).

Настоящий стандарт распространяется на СЭП, применяемые в жилых, коммерческих и промышленных зонах, за исключением применений для электрической тяги и электрических транспортных средств. СЭП могут быть подключены как к промышленным электрическим сетям, так и к низковольтным электрическим сетям общего назначения. Промышленные сети получают питание от отдельных распределительных трансформаторов, которые обычно расположены около или внутри производственной зоны и питают только промышленных потребителей. Промышленные сети могут также получать питание от собственного электрического генерирующего оборудования. СЭП могут быть непосредственно присоединены к низковольтным электрическим сетям общего назначения с заземленной нейтралью, к которым также подключаются бытовые потребители.

СЭП, на которые распространяется настоящий стандарт, включают широкую номенклатуру СЭП мощностью от нескольких сотен ватт до сотен мегаватт. СЭП часто входят в большую систему. Настоящий стандарт не регламентирует системные аспекты, но содержит рекомендации по данному вопросу в справочных приложениях.

Требования ЭМС выбраны так, чтобы обеспечивать должный уровень электромагнитной совместимости для СЭП в жилых, коммерческих и промышленных зонах. Установленные требования не учитывают, однако, те экстремальные случаи, которые могут иметь место с исключительно малой вероятностью. Изменения характеристик электромагнитной совместимости СЭП, происходящие в аварийных режимах, в настоящем стандарте не рассматриваются.

Целью настоящего стандарта является определение норм и методов испытаний СЭП с учетом их предполагаемого применения. Настоящий стандарт содержит требования к помехоустойчивости и требования к электромагнитной эмиссии от СЭП.

Примечание 1 — Электромагнитная эмиссия может оказывать влияние на другое электронное оборудование (например, радиоприемники, измерительную аппаратуру и вычислительную технику). Помехоустойчивость необходима, чтобы защитить СЭП от непрерывных и кратковременных кондуктивных и излучаемых помех, включая электростатические разряды. Требования к электромагнитной эмиссии и помехоустойчивости согласованы друг с другом и с реальной электромагнитной обстановкой при эксплуатации СЭП.

Настоящий стандарт устанавливает минимально необходимые требования электромагнитной совместимости для СЭП.

Издание официальное

Требования к помехоустойчивости установлены в соответствии с классификацией электромагнитной обстановки. Требования к низкочастотной электромагнитной эмиссии установлены в соответствии с характеристиками электрических сетей. Требования к высокочастотной электромагнитной эмиссии установлены в соответствии с четырьмя категориями предполагаемого применения СЭП, которые охватывают условия электромагнитной обстановки, и введения в действие.

В качестве стандарта, распространяющегося на продукцию конкретного вида, настоящий стандарт может быть применен для оценки соответствия СЭП. Стандарт может быть также применен для оценки соответствия СЭП или основных модулей привода (ОМП) (см. 3.1), которые могут быть маркированы в отдельности.

Настоящий стандарт включает в себя:

- требования оценки соответствия продукции, подлежащей размещению на рынке;
- рекомендуемую инженерную практику (см. 6.5) для случаев, когда уровни высокочастотной электромагнитной эмиссии не могут быть измерены прежде, чем оборудование будет размещено на рынке (такие СЭП определены в 3.2.6 как категория С4).

Примечание 2 — В первом издании IEC 61800-3 было указано, что предполагаемое применение СЭП может потребовать проведения конструкторских работ для введения в эксплуатацию. Для этого в указанный стандарт было введено понятие «режим ограниченного распределения». Оборудование, для регулирования которого применялось понятие «режим ограниченного распределения», регулируется в настоящем стандарте путем введения категорий С2 и С4 (см. 3.2).

Настоящий стандарт распространяется на конкретную продукцию, содержит полный комплект требований ЭМС и предназначен для применения при оценке соответствия требованиям ЭМС продукции категорий С1, С2 и С3 при размещении их на рынке (см. 3.2.3—3.2.5).

Радиочастотную электромагнитную эмиссию от оборудования категории С4 оценивают только при установке оборудования в месте размещения по назначению. Следовательно, такое оборудование должно оцениваться как стационарная установка, для которой в настоящем стандарте приведены правила инженерной практики (см. 6.5 и приложение Е), хотя не установлены нормы электромагнитной эмиссии (за исключением случаев возникновения разногласий).

Настоящий стандарт не устанавливает каких-либо требований безопасности для СЭП, таких, например, как защита против электрического поражения персонала, координация изоляции и соответствующие диэлектрические испытания, безопасная эксплуатация или предотвращение опасных последствий аварий. Настоящий стандарт не устанавливает также требований безопасности или функциональной безопасности, связанных с воздействием электромагнитных помех.

В особых случаях, когда вблизи СЭП применяется высокочувствительная аппаратура, могут потребоваться дополнительные меры для снижения электромагнитной эмиссии от СЭП ниже установленных норм или дополнительные меры по повышению помехоустойчивости высокочувствительной аппаратуры.

Настоящий стандарт ЭМС, распространяющийся на СЭП, имеет преимущество перед всеми требованиями общих стандартов ЭМС, при этом дополнительных испытаний по ЭМС не требуется. Если СЭП является частью оборудования, на которое распространяются требования отдельно разработанного стандарта ЭМС, распространяющегося на конкретную продукцию, то этот стандарт имеет преимущество перед настоящим стандартом.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных ссылок — последнее издание (включая все изменения)]:

IEC 60050-131:2002, International Electrotechnical Vocabulary (IEV). Chapter 131. Circuit theory (Международный электротехнический словарь. Часть 131. Теория электрических цепей)

IEC 60050-151:2001, International Electrotechnical Vocabulary (IEV). Chapter 151. Electrical and magnetic devices (Международный электротехнический словарь. Часть 151. Электрические и магнитные устройства)

IEC 60050-161:1990, International Electrotechnical Vocabulary (IEV). Chapter 161. Electromagnetic compatibility (Международный электротехнический словарь. Глава 161. Электромагнитная совместимость)

IEC 60146-1-1:1991, Semiconductor convertors. General requirements and line commutated convertors. Part 1-1: Specifications of basic requirements (Преобразователи полупроводниковые. Общие требования к преобразователям с линейной коммутацией. Часть 1-1. Технические условия на основные требования)

IEC 60364-1:2001, Electrical installations of buildings. Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions (Электрические установки в зданиях. Часть 1. Фундаментальные принципы, оценка общих характеристик, обозначений)

IEC 60664-1:1992, Insulation co-ordination for equipment within low-voltage systems. Part 1: Principles, requirements and tests (Координация изоляции для оборудования низковольтных систем. Часть 1. Принципы, требования и испытания)

IEC 61000-1-1, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 1: General. Section 1. Application and interpretation of fundamental definitions and terms (Электромагнитная совместимость. Часть 1. Общие положения. Раздел 1. Применение и интерпретация основных определений и терминов)

IEC/TR 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 (ЭМС). Часть 2. Условия окружающей среды. Раздел 1. Описание условий окружающей среды. Электромагнитная обстановка, влияющая на низкочастотные кондуктивные помехи и прохождение сигналов в системах коммунального электроснабжения)

IEC 61000-2-2:2002, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 2. Environment. Section 2. Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public lowvoltage power supply systems (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 2-2. Условия окружающей среды. Уровни совместимости для низкочастотных кондуктивных помех и передача сигналов в низковольтных системах коммунального электроснабжения)

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

IEC/TR3 61000-2-6:1995, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 2: Environment. Section 6. Assessment of the emission levels in the power supply of industrial plants as regards lowfrequency conducted disturbances (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 2. Условия окружающей среды. Раздел 6. Оценка уровней излучения для низкочастотных кондуктивных помех в энергоснабжении промышленных предприятий)

IEC 61000-3-2:2014, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 2. Limits for harmonic current emissions (equipment with input current < 16 A per phase) [Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-2. Нормы. Нормы эмиссии гармонических составляющих тока (оборудование с потребляемым током < или = 16 А в одной фазе)]

IEC 61000-3-3:2013, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3-3: Limits. Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and subject to conditional connection (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-3. Нормы. Ограничение изменений, колебаний напряжения и фликера в коммунальных низковольтных системах электроснабжения для оборудования с номинальным током < или = 16 А в одной фазе, которое не подлежит условному соединению)

IEC/TS 61000-3-4:1998, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 4. Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-4. Нормы. Ограничение излучения синусоидальных токов в низковольтных системах электроснабжения для оборудования с номинальным током более 16 А)

IEC 61000-3-11:2000, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3-11: Limits. Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 75 A and subject to conditional connection (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-11. Нормы. Ограничение изменений, колебаний напряжения и фликера в низковольтных системах электроснабжения для оборудования с номинальным током <= 75 А, которое подлежит условному соединению)

IEC 61000-4-2, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-2: Testing and measurement techniques. Electrostatic discharge immunity test (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-2. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к электростатическому разряду)

IEC 61000-4-3:2010, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-3: Testing and measurement techniques. Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-3. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю)

IEC 61000-4-4:2012, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4: Testing and measurement techniques. Section 4. Electrical fast transient/burst immunity test (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-4. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к электрическим быстрым переходным процессам/пачкам импульсов)

IEC 61000-4-5:2014, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4: Testing and measurement techniques. Section 5. Surge immunity test (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-5. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к импульсам перенапряжения)

IEC 61000-4-6:2013, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-6: Testing and measurement techniques. Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-6. Методы испытаний и измерений. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными полями)

IEC 61000-4-8:2009, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-8: Testing and measurement techniques. Power frequency magnetic field immunity test (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-8. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к магнитному полю промышленной частоты)

IEC 61000-4-11:2004, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-11: Testing and measurement techniques. Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-11. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения)

IEC 61000-4-13:2009, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-13: Testing and measurement techniques. Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-13. Методы испытаний и измерений. Испытание на помехоустойчивость к низким частотам гармоник и интергармоник, включая передачу сигналов на сеть электропитания переменного тока)

IEC 61000-4-34:2009, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-34: Testing and measurement techniques. Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests for equipment with input current more than 16 A per phase (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-34. Методы испытаний и измерений. Испытания на помехоустойчивость к падению напряжения, кратким прерываниям и изменениям напряжения оборудования, работающего от тока сети более 16 А на фазу)

IEC 61800-1:1997, Adjustable speed electrical power drive systems. Part 1: Rating specifications for low voltage d.c. power drive systems (Системы силовых электрических приводов с регулируемой скоростью. Часть 1. Общие требования. Номинальные технические характеристики низковольтных систем силовых электрических приводов постоянного тока с регулируемой скоростью)

IEC 61800-2:1998, Adjustable speed electrical power drive systems. Part 2: General requirements. Rating specifications for low voltage adjustable frequency a.c. power drive systems (Системы силовых электрических приводов с регулируемой скоростью. Часть 2. Общие требования. Номинальные технические характеристики низковольтных систем силовых электрических приводов переменного тока с регулируемой частотой)

IEC 61800-4:2002, Adjustable speed electrical power drive systems. Part 4: General requirements. Rating specifications for a.c. power drive systems above 1000 V and not exceeding 35 kV (Системы силовых электрических приводов с регулируемой скоростью. Часть 4. Общие требования. Номинальные технические характеристики систем силовых приводов переменного тока свыше 1000 В, но не более 35 кВ)

CISPR 11:2003, Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment. Electromagnetic disturbance characteristics. Limits and methods of measurement (Оборудование высокочастотное промышленное, научное и медицинское (ISM). Характеристики электромагнитных помех. Нормы и методы измерения)

CISPR 14, Electromagnetic compatibility. Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus (Совместимость электромагнитная. Требования к бытовой аппаратуре, электрическому инструменту и аналогичным приборам)

CISPR 16-1:2002, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus (Технические условия на приборы для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы. Часть 1. Приборы для измерения радиопомех и помехоустойчивости)

CISPR 22:2008, Information technology equipment. Radio disturbance characteristics. Limits and methods of measurement (Оборудование информационных технологий. Характеристики радиопомех. Нормы и методы измерений)

3 Термины и определения

3.1 Определения, относящиеся к установкам и их составным частям

Основные части СЭП в соответствии с определениями, приведенными ниже, а также остальные элементы установки представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 — Определения, относящиеся к установке и ее составу

3.1.1 **основной модуль привода;** ОМП (basic drive module; BDM): Электронный силовой преобразователь и связанные с ним устройства управления, подключенные между источником электропитания и двигателем. ОМП обеспечивает передачу электрической энергии от источника электропитания к двигателю и может обеспечить передачу электрической энергии от двигателя к источнику электропи-

тания. ОМП обеспечивает управление некоторыми или всеми из перечисленных ниже характеристик, связанных с электрической энергией, передаваемой к двигателю и на выходе двигателя:

- сила тока;
- частота;
- напряжение;
- скорость;
- момент;
- сила;
- положение.

3.1.2 **полный модуль привода;** ПМП (complete drive module; CDM): Модуль привода, включающий в себя, но не ограниченный, ОМП и расширения, такие как защитные устройства, трансформаторы и вспомогательное оборудование. Однако двигатель и датчики, которые механически связаны с осью двигателя, не включают в состав ПМП.

3.1.3 **система электрического привода;** СЭП (power drive system; PDS): Система, состоящая из одного или большего числа ПМП и двигателя или двигателей. Любые датчики, механически связанные с осью двигателя, также являются частью СЭП, однако оборудование, приводимое в движение, не включают в состав СЭП.

3.1.4 **установка** (installation): Оборудование или несколько образцов оборудования, включающие в себя по меньшей мере СЭП и оборудование, приводимое в движение.

3.2 Применение по назначению

3.2.1 **первая электромагнитная обстановка** (first environment): Электромагнитная обстановка помещений (зданий) в жилых зонах, включая также обстановку учреждений, непосредственно подключенных без промежуточных трансформаторов к низковольтным электрическим сетям, питающим здания в жилых зонах.

Примечание — Примерами мест размещения, относящихся к первой электромагнитной обстановке, являются дома в жилых зонах, жилые помещения, коммерческие предприятия и офисы в жилых зданиях.

3.2.2 **вторая электромагнитная обстановка** (second environment): Электромагнитная обстановка всех учреждений, помещений, кроме тех, которые непосредственно подключены к низковольтным электрическим сетям, питающим здания в жилых зонах.

Примечание — Примерами мест размещения, относящихся ко второй электромагнитной обстановке, являются промышленные зоны, технические зоны, размещенные в любых зданиях, получающие питание от специально предназначенных для этого трансформаторов.

3.2.3 **СЭП категории С1** (PDS of category C1): СЭП с номинальным напряжением менее 1000 В, предназначенные для применения в первой электромагнитной обстановке. PDS of rated voltage less than 1 000 V, intended for use in the first environment.

3.2.4 **СЭП категории С2** (PDS of category C2): СЭП с номинальным напряжением менее 1000 В, не имеющие вилки для подключения к сети и не являющиеся передвижными устройствами, которые при применении в первой электромагнитной обстановке подлежат установке и подключению исключительно профессионалами.

Примечание — К профессионалам относят человека (организацию), обладающего необходимой компетентностью в вопросах установки и (или) введения в действие систем электрического привода, включая аспекты электромагнитной совместимости СЭП.

3.2.5 **СЭП категории С3** (PDS of category C3): СЭП с номинальным напряжением менее 1000 В, предназначенные для применения во второй электромагнитной обстановке и не предназначенные для применения в первой электромагнитной обстановке.

3.2.6 **СЭП категории С4** (PDS of category C4): СЭП с номинальным напряжением не менее 1000 В или с номинальным током не менее 400 А или предназначенные для применения в составе сложных систем во второй электромагнитной обстановке.

3.3 Места размещения, порты и интерфейсы

3.3.1 **место эксплуатации (для испытаний)** [in situ (for test)]: Место, где оборудование установлено конечным пользователем для его применения по назначению.

3.3.2 **измерительная площадка** [test site (radiation)]: Площадка, отвечающая требованиям, обеспечивающим правильное измерение электромагнитных полей, излучаемых испытуемым устройством в условиях испытаний.

[IEV 161-04-28]

3.3.3 **порт** (port): Доступ (подход) к устройству или сети, в котором могут быть поданы или приняты электромагнитная энергия или сигналы или в котором могут быть обнаружены или измерены изменения устройства или сети.

[IEV 131-12-60]

Примечание — Разновидности портов СЭП представлены на рисунке 2.

3.3.4 **порт корпуса** (enclosure port): Физическая граница СЭП, через которую могут излучаться или проникать электромагнитные поля (см. рисунок 2).

3.3.5 **порт измерения и управления** (port for process measurement and control): Порт ввода/ вывода для провода или кабеля, через который осуществляется взаимосвязь СЭП с процессом.

3.3.6 **порт электропитания** (power port): Порт, который соединяет СЭП с источником электропитания, обеспечивающим также питание другого оборудования.

3.3.7 **основной порт электропитания** (main power port): Порт электропитания, через который обеспечивается питание СЭП той электрической энергией, которая после электрического силового преобразования преобразуется двигателем в механическую энергию.

3.3.8 **вспомогательный порт электропитания** (auxiliary power port): Порт электропитания, через который обеспечивается питание исключительно вспомогательных устройств СЭП, включая вынесенные цепи в месте эксплуатации (при их наличии).

3.3.9 **механическая связь** (mechanical link): Механическое соединение между валом двигателя СЭП и оборудованием, приводимым в движение.

3.3.10 **сигнальный интерфейс** (signal interface): Соединение ввода/вывода линии, подключающей основной модуль привода или полный модуль привода (ОМП/ПМП) к другой части СЭП (см. рисунок 2).

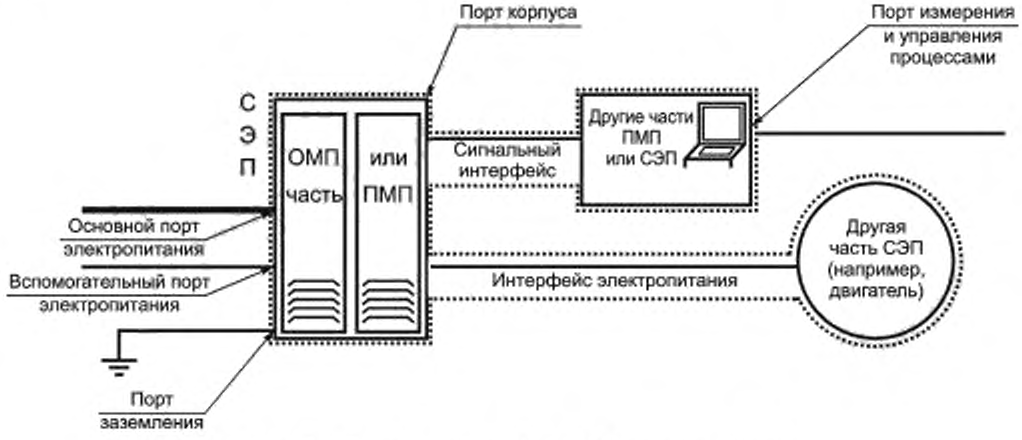


Рисунок 2 — Внутренние интерфейсы СЭП и примеры портов

3.3.11 **интерфейс электропитания** (power interface): Соединения, необходимые для распределения электрической энергии внутри СЭП (см. рисунок 3 и пояснение в Е.1).

Примечание — Интерфейсы питания СЭП могут иметь различные формы и расширения.

- Внутри ПМП/ОМП

Интерфейс электропитания может быть подключен для подачи электрической энергии от одной части ПМП/ОМП к другой. Один интерфейс электропитания может быть общим для разных СЭП. Для примера см. рисунки 3 и 4.

На рисунке 3 представлен интерфейс электропитания, который подает электроэнергию от входного преобразователя, где энергия переменного тока преобразовывается в другую форму (здесь — в энергию постоянного тока), к выходному инвертору, где энергия преобразовывается из промежуточной формы (здесь — постоянный ток) в другую форму (здесь — в переменный ток), после которого энергия может быть непосредственно подана к электродвигателям переменного тока.

На рисунке 4 представлен интерфейс электропитания, который подает энергию от вторичной обмотки трансформатора (который является частью ПМП) к отдельным ОМП.

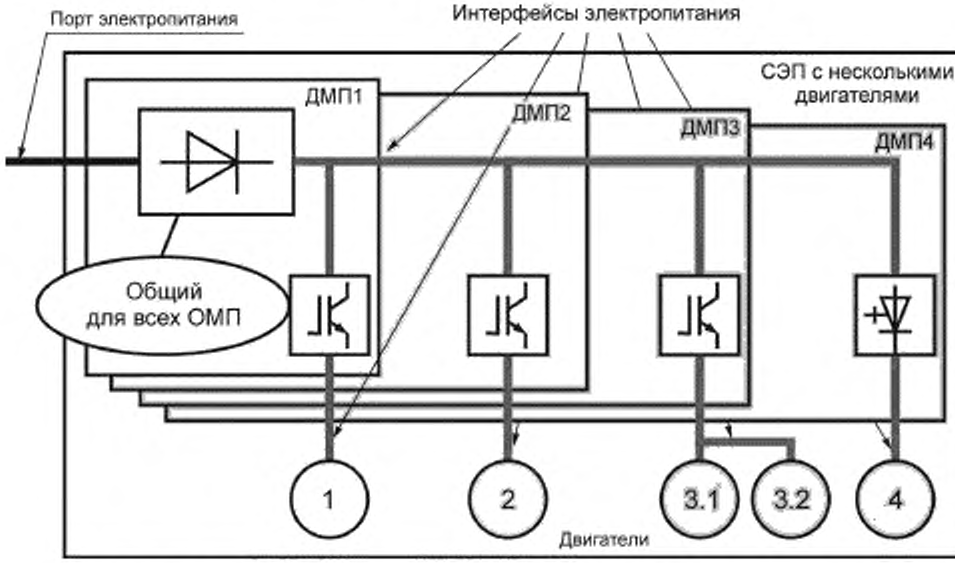


Рисунок 3 — Интерфейсы электропитания СЭП с общей шиной постоянного тока

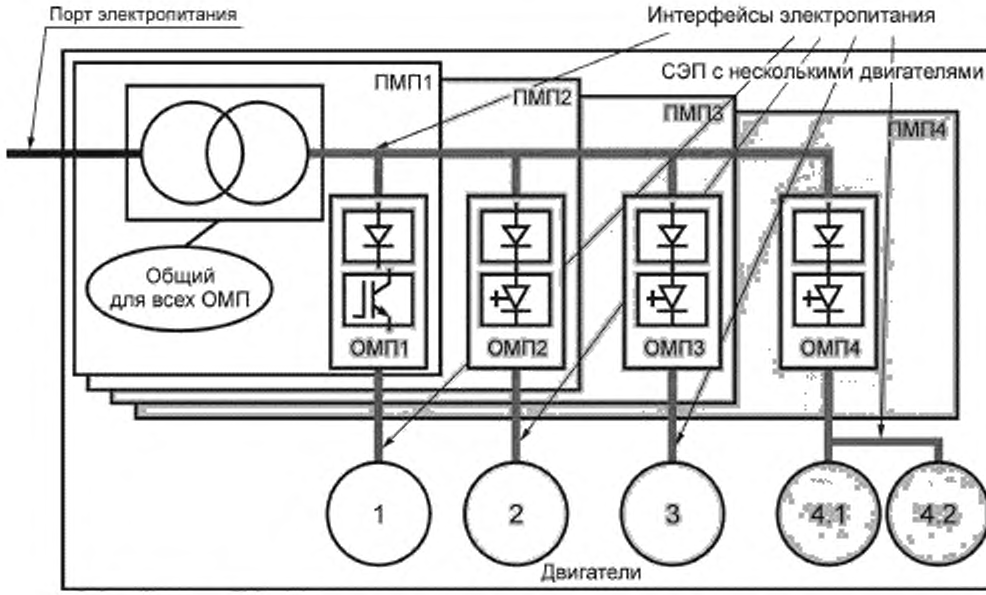


Рисунок 4 — Интерфейсы электропитания с общим входным трансформатором

- Внутри СЭП

Необходимо отметить, что соединение между инвертором и двигателем или двигателями также представляет собой интерфейс электропитания. Это последний интерфейс электропитания перед преобразованием в механическую энергию.

3.3.12 **ТОП, ТВП, ТП** (PCC, IPC, PC): Определения приведены в IEC 61000-2-4.

Примечание — Краткие пояснения:
- ТОП — точка общего присоединения;
- ТВП — точка внутризаводского присоединения;
- ТП — точка присоединения (для любого из этих случаев).

3.4 Компоненты СЭП

3.4.1 **преобразователь (ОМП)** [converter (of the BDM)]: Блок, который преобразует форму электрической энергии, подаваемой из сети к форме, необходимой для обеспечения питания двигателя (двигателей) путем изменения одной или большего числа величин: напряжение, сила тока и/или частота.

Примечание 1 — Преобразователь включает в себя электронные коммутирующие устройства и связанные с ними вспомогательные цепи коммутации. Он управляется транзисторами или тиристорами или любыми иными переключающими полупроводниковыми приборами.

Примечание 2 — Преобразователь может быть с линейной коммутацией, с естественной коммутацией или самокоммутирующимся преобразователем и может состоять, например, из одного или большего числа выпрямителей или инверторов.

3.4.2 **(электрический) двигатель** [(electric) motor]: Электрическая машина, которая преобразует электрическую энергию в механическую.

[IEV 151-13-41]

Примечание — В контексте требований настоящего стандарта двигатель включает в себя все датчики, установленные на нем, выполняющие функции по поддержанию рабочего режима и взаимодействия с ПМП.

3.4.3 **субкомпоненты (СЭП)** [sub-component (of the PDS)]: В контексте требований настоящего стандарта составные части СЭП могут быть подразделены на субкомпоненты, каждый из которых представляет собой конструктивную часть оборудования, способную функционировать автономно при выполнении функции, определенной изготовителем.

Примечание — Примером субкомпонента является блок управления ПМП.

3.5 Термины, относящиеся к электромагнитным явлениям

3.5.1 **отклонение напряжения** (voltage deviation): Разность, выражаемая, как правило, в процентном отношении, между напряжением в данный момент времени в данной точке системы и опорным напряжением, таким как номинальное напряжение, среднее значение действующего напряжения, заявленное напряжение электропитания.

[IEV 604-01-17]

3.5.2 **изменение напряжения** (voltage change): Изменение среднеквадратического или пикового значения напряжения между двумя последовательными уровнями, удерживающимися в течение определенных, но нерегламентированных интервалов времени.

Примечание — Для конкретных применений должен быть установлен выбор среднеквадратического или пикового значения напряжения.

[IEV 161-08-01]

3.5.3 **колебание напряжения** (voltage fluctuation): Серия изменений напряжения или продолжительное изменение среднеквадратического или пикового значения напряжения.

Примечание — Для конкретных применений должен быть установлен выбор среднеквадратического или пикового значения напряжения.

[IEV 161-08-05]

3.5.4 **провал напряжения** (voltage dip): Внезапное снижение напряжения в точке электрической системы, за которым следует восстановление напряжения после короткого интервала, от нескольких циклов до нескольких секунд.

[IEV 604-01-25, IEV 161-08-10]

4 Общие требования

4.1 Общие условия

Все электромагнитные явления должны рассматриваться по отдельности с точки зрения электромагнитной эмиссии или помехоустойчивости. Нормы установлены для условий, которые не принимают во внимание кумулятивные эффекты различных электромагнитных явлений.

Для реальной оценки состояния ЭМС должна быть выбрана типичная конфигурация СЭП.

Применение испытаний для оценки помехоустойчивости конкретной СЭП зависит от ее конфигурации, портов, ее технологии и рабочих условий (см. приложения).

4.2 Испытания

4.2.1 Условия

Различие между типовыми, периодическими и специальными испытаниями установлено в IEC 60146-1-1 и IEC 61800-2. Если не установлено иное, все испытания в соответствии с настоящим стандартом являются типовыми. Оборудование должно соответствовать требованиям ЭМС при испытаниях методами, установленными в настоящем стандарте.

Примечание 1 — С учетом действующего национального законодательства, относящегося к радиопередачам, некоторые испытания на помехоустойчивость могут быть проведены в условиях, ограничивающих выбор мест их проведения.

При необходимости должны быть приняты меры защиты против любых непреднамеренных последствий общих процессов, которые могут явиться результатом нарушения функционирования оборудования при проведении испытаний в области ЭМС.

При проведении испытаний ПМП подключают к двигателю, рекомендуемому изготовителем, с использованием кабеля и выполнением правил заземления, установленных изготовителем. В качестве альтернативного варианта допускается (с согласия изготовителя) применение пассивной нагрузки (резистивной или резистивно-индуктивной) (например, при оценке низкочастотной электромагнитной эмиссии).

Примечание 2 — При измерении высокочастотных электромагнитных помех применение пассивной нагрузки может стать невозможным из-за необходимости имитировать симметричные и общие несимметричные емкости и виды связи.

Описания испытаний, методов испытаний, характеристик испытаний и испытательных установок приведены в ссылочных стандартах и не повторяются здесь. Однако требуемые для практического применения настоящего стандарта дополнительные требования и информация или специфические методы испытаний приведены в настоящем стандарте.

4.2.2 Протокол испытаний

Результаты испытаний должны быть зарегистрированы в протоколе испытаний. Протокол испытаний должен ясно и однозначно представлять всю необходимую информацию об испытаниях (например, режим нагрузки, прокладка кабеля и т. д.). Техническое описание и определение установленных норм для принятых критериев приемки должны обеспечиваться производителем и отмечаться в протоколе испытаний.

В протоколе испытаний должна быть приведена утвержденная программа испытаний. Число присоединяемых к СЭП выходных устройств должно быть выбрано так, чтобы смоделировать реальные условия эксплуатации и гарантировать, что при проведении испытаний будут учтены все возможные виды оконечных устройств. Испытания должны проводиться при номинальном питающем напряжении и при необходимости воспроизводиться.

4.3 Документация для пользователя

Выбор норм и структуры настоящего стандарта основывается на понимании ответственности наладчика и пользователя СЭП за соблюдение рекомендаций изготовителя, относящихся к обеспечению ЭМС.

Изготовитель должен передать наладчику ОМП, ПМП или пользователю СЭП документацию, необходимую для правильной установки ОМП, ПМП или СЭП в составе типичной системы или процесса в обстановке по предназначению. Документация должна включать в себя все предупреждения, относящиеся к электромагнитной эмиссии в соответствии с 6.1 и таблицей 13. Документация должна также включать в себя предупреждения по 5.3.2, если помехоустойчивость ОМП, ПМП или СЭП не соответствует второй обстановке.

Примечание 1 — Применительно к электромагнитной эмиссии СЭП (или ОМП, или ПМП) с пониженным уровнем электромагнитной эмиссии категорий С1 и С2 всегда могут применяться вместо оборудования с повышенным уровнем эмиссии, такого как оборудование, соответствующее категории С3.

Примечание 2 — Категории оборудования в части электромагнитной эмиссии устанавливают независимо от категорий в части помехоустойчивости. Например, заявление, что СЭП имеет категорию С1 по электромагнитной эмиссии, не должно означать, что помехоустойчивость СЭП соответствует именно первой электромагнитной обстановке.

Если для выполнения установленных норм необходимы специальные меры обеспечения ЭМС, эти меры должны быть четко установлены в документации пользователя. С учетом условий применения эти меры могут включать в себя:

- значение минимального и максимального допустимого полного сопротивления сети электропитания;
- использование экранированных и специальных кабелей (силовых и/или управления);
- требования к соединению экранов кабелей;
- значение максимальной допустимой длины кабелей;
- разделение кабелей;
- использование внешних устройств, таких, например, как фильтры,
- правильное присоединение к функциональному заземлению.

Если в различной обстановке необходимо применять различные устройства или соединения, это должно быть установлено.

Перечень вспомогательного оборудования (например, дополнений или расширений), которое может быть добавлено к СЭП для обеспечения соответствия требованиям помехоустойчивости и/или электромагнитной эмиссии, должен быть доступен.

Перечень может также отражаться в некоторых разделах протокола испытаний, с тем чтобы уточнить заключительные рекомендуемые мероприятия.

5 Требования помехоустойчивости

5.1 Общие условия

5.1.1 Критерии приемки (критерии качества функционирования)

Качество функционирования системы связано с функциями, выполняемыми ОМП или ПМП, или СЭП в целом, установленными изготовителем.

Качество функционирования субкомпонента связано с функциями, выполняемыми субкомпонентами ОМП или ПМП, или СЭП, установленными изготовителем.

Для демонстрации помехоустойчивости качество функционирования субкомпонента при воздействии помех может быть проверено в качестве альтернативы испытаниям по проверке качества функционирования системы (см. 5.1.2).

Хотя в соответствии с требованиями настоящего стандарта испытания субкомпонентов (компонентов ПМП/ОМП) допустимы, такие испытания не предназначены для отдельной оценки соответствия субкомпонентов.

Критерии приемки применяются для проверки качества функционирования СЭП при воздействии внешних электромагнитных помех. С точки зрения ЭМС любая установка в соответствии с рисунком 1 должна функционировать должным образом. Так как СЭП является частью функционального ряда более сложных технологических процессов, влияние на эти процессы изменений качества функционирования СЭП трудно предсказать. Вместе с тем основные аспекты работы больших систем следует отражать в плане ЭМС (см. приложение Е).

Главными функциями СЭП являются превращение электрической энергии в механическую и обработка информации, необходимой для этого.

Для СЭП и для ее субкомпонентов применяют критерии приемки/качества функционирования А, В и С при воздействии помехи конкретного вида, указанные в таблице 1.

Критерии приемки применительно к каждому электромагнитному явлению установлены в 5.2 и 5.3.

5.1.2 Выбор вида критерия качества функционирования

5.1.2.1 Общие или специальные характеристики качества функционирования системы

«Критерии приемки/критерии качества функционирования», соответствующие общим характеристикам качества функционирования системы (см. соответствующую графу таблицы 1), должны быть

определены с учетом особенностей применения и конфигурации СЭП. Ответственность за определение указанных критериев приемки несет изготовитель СЭП.

К специальным характеристикам качества функционирования системы относят крутящий момент. Испытания по проверке крутящего момента проводят только в том случае, если это точно установлено в технической документации на оборудование. В этом случае испытания по проверке крутящего момента могут быть проведены как прямые, так и косвенные. При прямых испытаниях измеряют возмущения крутящего момента с использованием измерителя момента, защищенного в отношении ЭМС.

Качество функционирования в части крутящего момента может быть определено с учетом способности системы поддерживать постоянство потребляемого тока или скорости в пределах установленных допусков при воздействии электромагнитных помех (см. также 5.1.3). Поэтому испытания с измерением тока могут быть использованы в качестве косвенных испытаний по проверке крутящего момента. Для целей оценки соответствия требованиям ЭМС, если не согласовано применение иных методов, считают, что выходной ток силового преобразователя с достаточной точностью представляет крутящий момент. В качестве альтернативы при проведении косвенных испытаний допускается использовать измерение скорости при условии, что установлена полная инерция системы.

5.1.2.2 Качество функционирования субкомпонентов

Испытания субкомпонентов с целью проверки качества функционирования субкомпонентов проводят в тех случаях, если СЭП не может быть введена в действие и испытана на измерительной площадке вследствие ограничений, связанных с конструктивными размерами СЭП, потребляемым током, номинальными параметрами электроснабжения или условиями нагрузки. В любом случае испытательная установка должна быть защищенной от воздействия помех на СЭП или на испытуемый субкомпонент при наивысшей степени жесткости испытаний.

Испытания по проверке функций сбора и обработки информации, включая функции, выполняемые вспомогательным оборудованием (при их наличии), проводят только в случаях, если СЭП имеет соответствующие порты и интерфейсы. Испытания с целью проверки качества функционирования субкомпонентов, проводимые в соответствии с таблицей 1, при наличии соответствующих функций, считают достаточными для определения соответствия требованиям настоящего стандарта.

Таблица 1 — Критерии приемки СЭП в отношении воздействия электромагнитных помех

Вид характеристики качества функционирования	Критерий приемки/критерий качества функционирования [a]		
	A	B	C
Общие характеристики качества функционирования системы	Отсутствуют заметные изменения рабочих характерик. Функционирование в соответствии с назначением в пределах установленных допусков	Заметные изменения (видимые или слышимые) рабочих характеристик. Самовосстановление нормального функционирования	Выключение оборудования, изменения рабочих характеристик. Срабатывание защитных устройств [b]. Отсутствует самовосстановление нормального функционирования
Специальные характеристики качества функционирования системы. Крутящий момент	Изменения крутящего момента в пределах установленных допусков	Временное изменение крутящего момента вне пределов установленных допусков. Самовосстановление нормального функционирования	Исчезновение крутящего момента. Отсутствует самовосстановление нормального функционирования
Характеристики качества функционирования субкомпонента. Функционирование силовой электроники и цепей подключения двигателя	Отсутствуют нарушения функционирования силовых полупроводниковых элементов	Временный сбой, который не приводит к непредвиденному отключению СЭП	Отключение, вызванное срабатыванием защитных устройств [b]. Отсутствуют потери хранимых программ. Отсутствуют потери программ пользователя. Отсутствуют потери настроек. Отсутствует самовосстановление нормального функционирования

Окончание таблицы 1

Вид характеристики качества функционирования	Критерий приемки/критерии качества функционирования [a]		
	A	B	C
Характеристики качества функционирования субкомпонента. Функционирование устройства сбора и обработки информации	Передача данных и обмен информацией с внешними устройствами не нарушены	Временные нарушения обмена данными, но отсутствуют ошибки в показаниях внутренних и внешних устройств, которые могли бы вызвать остановку	Ошибки при передаче данных, потеря данных и информации. Отсутствуют потери хранимых программ. Отсутствуют потери программ пользователя. Отсутствуют потери настроек. Отсутствует самовосстановление нормального функционирования
Характеристики качества функционирования субкомпонента. Функционирование дисплеев и панелей управления	Отсутствие видимых изменений информации на дисплее, допускаются незначительные колебания яркости свечения светодиодов или небольшое дрожание символов	Видимые временные изменения информации, нежелательное свечение светодиодов	Отключение дисплеев, постоянная потеря информации или недопустимый режим работы, очевидные ошибки отображения информации. Отсутствуют потери хранимых программ. Отсутствуют потери программ пользователя. Отсутствуют потери настроек

[a] Критерии приемки A, B и C. Фальш-старты не допускаются. Фальш-стартом является непреднамеренное изменение логического состояния «ОСТАНОВЛЕН», которое может вызвать работу двигателя.

[b] Критерий приемки C. Функция может быть восстановлена оператором (ручной перезапуск). Для преобразователей с линейной коммутацией, работающих в режиме инвертора, допускается срабатывание предохранителей.

5.1.3 Условия проведения испытаний

Нагрузка при испытаниях должна быть в пределах, установленных изготовителем, и действительное значение нагрузки должно быть отражено в протоколе испытаний.

Испытание с целью проверки характеристик крутящего момента, а также функций систем сбора и обработки информации требует применения специального испытательного оборудования с необходимой устойчивостью к паразитным связям и воздействию испытательных помех. Такое испытательное оборудование может использоваться, только если помехоустойчивость испытательной установки подтверждена опорными измерениями. Оценка нарушений крутящего момента может быть выполнена датчиком крутящего момента, или измерением или вычислением тока, или другими косвенными методами; для этого на месте испытаний необходимо иметь адаптированную помехоустойчивую нагрузку.

При испытаниях с целью проверки функций систем сбора и обработки информации необходимо иметь соответствующее оборудование для моделирования передачи или оценки данных. Оборудование должно иметь достаточную помехоустойчивость для нормальной работоспособности в период испытаний.

Поскольку двигатель проверяется изготовителем в соответствии с требованиями действующих стандартов, электрические двигатели СЭП, за исключением датчиков, не нуждаются в дополнительных испытаниях на помехоустойчивость. Поэтому, когда двигатель присоединен к ОМП/ПМП в период испытаний, испытания на помехоустойчивость самого двигателя не требуются.

Там, где порты существуют, они должны быть испытаны, включая имеющиеся дополнительные приспособления. Испытания должны быть однозначно определенными и воспроизводимыми от порта к порту. В случае если несколько датчиков, портов управления или сигнальных интерфейсов имеют одинаковую конфигурацию (расположение), достаточно провести испытание только одного датчика, порта или интерфейса такого типа.

Минимальные требования, испытания и критерии приемки, соответствующие 5.1.1, установлены в 5.2 и 5.3.

5.2 Основные требования помехоустойчивости. Низкочастотные электромагнитные помехи

5.2.1 Общие принципы

Установленные в настоящем пункте требования применяют при обеспечении устойчивости СЭП к низкочастотным электромагнитным помехам.

Изготовитель должен продемонстрировать соответствие требованиям помехоустойчивости с использованием испытаний, расчетов или имитации. Если не установлено иное, достаточно подтвердить, что силовая цепь будет соответствовать установленным критериям приемки и что номинальные значения, установленные для входных цепей (фильтров и т. д.), не превышены.

Примечание 1 — Число видов электромагнитных помех не должно соответствовать установленному в общих стандартах ЭМС, но вместе с тем является важным при конструировании силовой цепи СЭП. Провести испытания применительно ко всем видам электромагнитных помех трудно, особенно при потребляемом токе свыше 16 А и входном напряжении свыше 400 В. Однако многолетний опыт показывает, что при правильном функционировании силовой цепи устройства управления и вспомогательное оборудование, как правило, являются устойчивыми к электромагнитным помехам. Это обусловлено естественными развязками, имеющимися в СЭП. Примерами таких развязок являются те, которые обеспечиваются системой электроснабжения и постоянными времени вспомогательных процессов, таких как вентиляция.

В эксплуатационных документах на СЭП должно быть указано о соответствии требованиям настоящего стандарта. Если соответствие демонстрируется проведением испытаний, должны учитываться соответствующие основополагающие стандарты серии IEC 61000-4 (см. В.7).

Примечание 2 — Условия эксплуатации, связанные с сетевым и вспомогательным электроснабжением (при наличии), уже включены в условия эксплуатации СЭП в соответствии с требованиями IEC 61800-1, или IEC 61800-2, или IEC 61800-4. Условия эксплуатации, связанные с сетевым и вспомогательным электроснабжением, включают в себя изменения частоты, скорость изменения частоты, изменения напряжения, колебания напряжения, несимметрию напряжений, гармоники и коммутационные провалы.

5.2.2 Гармоники и коммутационные провалы/искажения напряжения

5.2.2.1 Низковольтные СЭП. Искажения напряжения

СЭП, ОМП или ПМП должны выдерживать испытания с уровнями помехоустойчивости, установленными в таблицах 23, 24 и 25. Следует проверить, чтобы эти уровни не превышали номинальных характеристик входных цепей (фильтров и т. д.). Анализ коммутационных провалов должен быть проведен во временной области. Допускается проверка помехоустойчивости изготовителем путем расчетов, имитации или испытаний, как указано в 5.2.1. Если выбран метод проверки путем испытаний, они должны быть проведены с применением СЭП с подключенным двигателем. Для оборудования с номинальным потребляемым током менее 16 А на фазу применяют методы, установленные в IEC 61000-4-13.

Примечание — Расчет вклада коммутационных провалов в полный коэффициент гармонических искажений с применением анализа в частотной области не выявляет некоторые виды вредных эффектов, см. В.1.

Таблица 23 — Минимальные требования помехоустойчивости для коэффициента полных гармонических искажений на портах электропитания низковольтных СЭП

Электромагнитное явление	Первая обстановка		Вторая обстановка		Критерий приемки (критерий качества функционирования)
	Ссылочный документ	Испытательный уровень	Ссылочный документ	Испытательный уровень	
Гармоники — суммарный коэффициент гармонических составляющих (THD)	IEC 61000-2-2	8 %	IEC 61000-2-4 Класс 3	12 %	A

Таблица 24 — Минимальные требования помехоустойчивости для отдельных гармоник на портах электропитания низковольтных СЭП

Электромагнитное явление. Порядок гармоники	Первая обстановка		Вторая обстановка		Критерий приемки (критерий качества функционирования)
	Ссылочный документ	Испытательный уровень	Ссылочный документ	Испытательный уровень	
2	IEC 61000-4-13 Класс 2	3 %	IEC 61000-4-13 Класс 3	5 %	A

Окончание таблицы 24

Электромагнитное явление. Порядок гармоники	Первая обстановка		Вторая обстановка		Критерий приемки (критерий качества функционирования)
	Ссылочный документ	Испытательный уровень	Ссылочный документ	Испытательный уровень	
3	IEC 61000-4-13 Класс 2	8 %	IEC 61000-4-13 Класс 3	9 %	A
4		1,5 %		2 %	
5		9 %		12 %	
Четные гармоники $6 \le h \le 50$		Требования не установлены		1,5 %	
7		7,5 %		10 %	
9		2,5 %		4 %	
11		5 %		7 %	
13		4,5 %		7 %	
15		Требования не установлены		3 %	
17		3 %		6 %	
19		2 %		6 %	
21		Требования не установлены		2 %	
23		2 %		6 %	
25		2 %		6 %	
27		Требования не установлены		2 %	
29		1,5 %		5 %	
31		1,5 %		3 %	
33		Требования не установлены		2 %	
35		1,5 %		3 %	
37		1,5 %		3 %	
39		Требования не установлены		2 %	

Примечание 1 — Испытательные уровни для отдельных гармоник соответствуют уровням для класса 2 по IEC 61000-4-13 (это приблизительно в 1,5 раза превышает уровни электромагнитной совместимости по IEC 61000-2-4).

Примечание 2 — Испытательные уровни для отдельных гармоник соответствуют уровням для класса 3 по IEC 61000-4-13 (это приблизительно в 1,5 раза превышает уровни электромагнитной совместимости по IEC 61000-2-4).

Таблица 25 — Минимальные требования помехоустойчивости для коммутационных провалов на портах электропитания низковольтных СЭП

Электромагнитное явление	Первая обстановка		Вторая обстановка		Критерий приемки (критерий качества функционирования)
	Ссылочный документ	Испытательный уровень	Ссылочный документ	Испытательный уровень	
Коммутационные провалы	Отсутствует	Требования отсутствуют	IEC 60146-1-1 Класс B	Глубина = 40 % Общая площадь = 250 %, градусов	A

5.2.2.2 СЭП номинальным напряжением свыше 1000 В. Искажения напряжения

5.2.2.2.1 Основной порт электропитания

СЭП или ОМП/ПМП должны выдерживать испытания с уровнями помехоустойчивости, установленными в таблице 3. При этом необходимо убедиться, что указанные уровни не приводят к превышению номинальных параметров входных цепей (фильтров и т. д.). Анализ коммутационных провалов проводят во временной области. Изготовитель может проверить помехоустойчивость расчетами, имитацией или испытаниями в соответствии с 5.2.1.

Примечание — Расчет вклада коммутационных провалов в полный коэффициент гармонических искажений с применением анализа в частотной области не выявляет некоторые виды вредных эффектов (см. B.1).

Таблица 3 — Минимальные требования помехоустойчивости для гармоник и коммутационных провалов/искажений напряжения на основных портах электропитания СЭП с номинальным напряжением свыше 1000 В

Электромагнитное явление	Ссылочный документ	Испытательный уровень	Критерий приемки (критерий качества функционирования)
Гармоники (включая THD и гармоники отдельных порядков)	IEC 61000-2-4 Класс 3	Уровень электромагнитной совместимости	A [a]
Кратковременные гармоники (менее 15 с)	IEC 61000-2-4 Класс 2	В 1,5 раза больше постоянного уровня электромагнитной совместимости	A [a]
Коммутационные провалы	IEC 60146-1-1	Глубина 40 % U_{LWM} (класс B) Площадь [a] = 125 %, градус (класс C)	A [a]
[a] Класс C по IEC 60146-1-1 применяют к первичной обмотке трансформатора.			

5.2.2.2.2 Вспомогательный порт электропитания

Вспомогательные порты электропитания СЭП должны выдерживать при испытаниях на помехоустойчивость испытательные уровни для второй электромагнитной обстановки, установленные в таблицах 23, 24 и 25 и соответствовать критериям, указанным в этих таблицах. При этом необходимо убедиться, что указанные уровни не приводят к превышению номинальных параметров входных цепей (фильтров и т. д.). Анализ коммутационных провалов проводят во временной области. Изготовитель может проверить помехоустойчивость расчетами, имитацией или испытаниями в соответствии с 5.2.1.

Примечание — Расчет вклада коммутационных провалов в полный коэффициент гармонических искажений с применением анализа в частотной области не выявляет некоторые виды вредных эффектов (см. B.1).

5.2.3 Отклонения напряжения, провалы и кратковременные прерывания

5.2.3.1 Низковольтные СЭП (отклонения напряжения)

СЭП или ОМП/ПМП должны выдерживать испытания с уровнями помехоустойчивости, установленными в таблице 5. Изготовитель может проверить помехоустойчивость расчетами, имитацией или испытаниями в соответствии с 5.2.1.

Таблица 5 — Минимальные требования помехоустойчивости для отклонений напряжения, провалов и кратковременных прерываний напряжения на портах электропитания низковольтных СЭП

Электромагнитное явление	Первая обстановка			Вторая обстановка			Критерий приемки (критерий качества функционирования)
	Ссылочный документ	Испытательный уровень		Ссылочный документ	Испытательный уровень		
Отклонения напряжения (более 60 с)	IEC 61000-2-2	± 10 % [a]		IEC 61000-2-4 Класс 2	±10 % [a]		A [b]
Провалы напряжения [e]	IEC 61000-4-11 Класс 2 или IEC 61000-4-34 Класс 2 [f]	Остаточное напряжение 0 % 70 %	Периоды 1 25/30 [c]	IEC 61000-4-11 Класс 3 или IEC 61000-4-34 Класс 3 [f]	Остаточное напряжение 0 % 40 % 70 % 80 %	Периоды 1 10/12 [c] 25/30 [c] 250/300 [c]	C [d]
Кратковременные прерывания напряжения	IEC 61000-4-11 Класс 2 или IEC 61000-4-34 Класс 2 [f]	Остаточное напряжение 0 %	Периоды 250/300 [c]	IEC 61000-4-11 Класс 3 или IEC 61000-4-34 Класс 3 [f]	Остаточное напряжение 0 %	Периоды 250/300 [c]	C [d]

[a] «Отклонение напряжения» представляет собой изменение номинального напряжения электропитания. Испытания трехфазных СЭП на устойчивость к отклонениям напряжения требуют проводить увеличение или уменьшение напряжения одновременно в трех фазах.

[b] Если напряжение ниже номинального, максимальные номинальные значения выходной мощности — скорости и/или крутящего момента — могут быть уменьшены, т. к. они зависят от напряжения.

[c] «x/y периодов» означает «испытания с x периодов при частоте 50 Гц» и «испытания с y периодов при частоте 60 Гц».

[d] Для преобразователей с линейной коммутацией, работающих в режиме инвертора, допускают срабатывание предохранителей.

[e] Для портов электропитания с номинальным током более 75 А допускается применение метода испытаний на устойчивость к провалам напряжения в соответствии с 7.5 IEC 61400-21:2008.

[f] IEC 61000-4-11 применяют для оборудования с номинальным током, не превышающим 16 А, и IEC 610004-34 применяют для оборудования с номинальным током, превышающим 16 А.

Примечание 1 — Следует учитывать, что СЭП применяют для преобразования энергии, а провалы напряжения представляют собой потери имеющейся энергии. Поэтому для обеспечения безопасности может быть необходимым расцеплять двигатель СЭП даже при воздействии провалов напряжения амплитудой 30 % или 50 % длительностью 0,3 с.

Примечание 2 — Снижение входного напряжения продолжительностью даже несколько миллисекунд может привести к перегоранию плавких вставок предохранителей у тиристорных преобразователей с линейной коммутацией, работающих в режиме рекуперации.

Примечание 3 — Влияние провалов напряжения (снижения энергии) на технологический процесс трудно определить без подробного знания этого процесса. Этот результат определяется конструкцией системы и ее номинальными характеристиками и может быть, в общем, наибольшим, если потребление мощности в СЭП (включая потери) превышает имеющуюся мощность.

Там, где это возможно и не представляет опасности, функционирование СЭП при кратковременных провалах напряжения может быть проверено путем включения и выключения сетевого электропитания при стандартных рабочих условиях (см. B.6.1).

Изготовитель должен установить в эксплуатационных документах ухудшение качества функционирования СЭП при воздействии провалов и кратковременных прерываний напряжения.

Примечание 4 — Улучшение путем использования агрегатов бесперебойного питания, генераторов горячего резерва, АВР могут привести к значительному увеличению размера и стоимости СЭП и могут снизить КПД установки или коэффициент мощности в сети. Использование такой операции, как автоматический рестарт, может приводить к снижению безопасности и не относится к области применения настоящего стандарта.

5.2.3.2 СЭП номинальным напряжением свыше 1000 В (отклонения напряжения)

5.2.3.2.1 Основной порт электропитания

Основной порт электропитания СЭП должен выдерживать при испытаниях на помехоустойчивость испытательные уровни, установленные в таблице 6. Изготовитель может проверить помехоустойчивость расчетами, имитацией или испытаниями в соответствии с 5.2.1.

Таблица 6 — Минимальные требования помехоустойчивости для отклонений напряжения, провалов и кратковременных прерываний напряжения на основных портах электропитания СЭП с номинальным напряжением свыше 1000 В

Электромагнитное явление	Ссылочный документ	Испытательный уровень		Критерий приемки (критерий качества функционирования)
Отклонения напряжения более 1 мин	IEC 61000-2-4 Класс 3	±10 %		A [a]
Отклонения напряжения не более 1 мин	IEC 61000-2-4 Класс 3	+10 %/–15 %		A [a]
Провалы напряжения	IEC 61000-4-34 [b]	Остаточное напряжение 0 % 40 % 70 % 80 %	Периоды 1 10/12 [c] 25/30 [c] 250/300 [c]	C [d]
Кратковременные прерывания напряжения	IEC 61000-4-34 [b]	Остаточное напряжение 0 %	Периоды 250/300 [c]	C [d]

[a] «Отклонение напряжения» представляет собой изменение номинального напряжения электропитания. Испытания трехфазных СЭП на устойчивость к отклонениям напряжения требуют проводить увеличение или уменьшение напряжения одновременно в трех фазах.

При отклонении напряжения любой шаг изменения напряжения не должен превышать 12 % номинального напряжения, и интервалы времени между шагами должны быть не менее 2 с.

Если напряжение ниже номинального, максимальные номинальные значения выходной мощности — скорости и/или момента — могут быть уменьшены, т. к. они зависят от напряжения.

[b] Типичные значения глубины и длительности провалов напряжения приведены в IEC 61000-2-8.

[c] «x/y периодов» означает «испытания с x периодов при частоте 50 Гц» и «испытания с y периодов при частоте 60 Гц».

[d] Для преобразователей с линейной коммутацией, работающих в режиме инвертора, допускают срабатывание предохранителей.

Изготовитель должен установить в эксплуатационных документах ухудшение качества функционирования СЭП при воздействии провалов и кратковременных прерываний напряжения.

5.2.3.2.2 Вспомогательный порт электропитания

Вспомогательные порты электропитания СЭП должны выдерживать при испытаниях на помехоустойчивость испытательные уровни, установленные в таблице 7. Изготовитель может проверить помехоустойчивость расчетами, имитацией или испытаниями в соответствии с 5.2.1.

Таблица 7 — Минимальные требования помехоустойчивости для отклонений напряжения, провалов и кратковременных прерываний напряжения на вспомогательных низковольтных портах электропитания СЭП

Электромагнитное явление	Ссылочный документ	Испытательный уровень	Критерий приемки (критерий качества функционирования)
Отклонения напряжения более 1 мин	IEC 61000-2-4 Класс 3	± 10 %	A

Окончание таблицы 7

Электромагнитное явление	Ссылочный документ	Испытательный уровень		Критерий приемки (критерий качества функционирования)
Отклонения напряжения не более 1 мин	IEC 61000-2-4 Класс 3	От +10 % до –15 %		A
Провалы напряжения	IEC 61000-4-11 или IEC 61000-4-34 [b]	Остаточное напряжение 0 % 40 % 70 % 80 %	Периоды 1 10/12 [a] 25/30 [a] 250/300 [a]	C
Кратковременные прерывания напряжения	IEC 61000-4-11 Класс 3 или IEC 61000-4-34 Класс 3 [b]	Остаточное напряжение 0 %	Периоды 250/300 [a]	C

[a] «x/y периодов» означает «испытания с x периодов при частоте 50 Гц» и «испытания с y периодов при частоте 60 Гц».

[b] IEC 61000-4-11 применяют для оборудования с номинальным током, не превышающим 16 А, и IEC 61000-4-34 применяют для оборудования с номинальным током, превышающим 16 А.

5.2.4 Несимметрия напряжений и отклонения частоты

5.2.4.1 Низковольтные СЭП

Определения и пояснения, относящиеся к оценке несимметрии напряжений, приведены в В.5.2.

СЭП или ОМП/ПМП должны соответствовать требованиям помехоустойчивости при испытательных уровнях, установленных в таблице 8. Изготовитель может проверить помехоустойчивость расчетами, имитацией или испытаниями в соответствии с 5.2.1. При верификации должны быть созданы условия номинальной нагрузки.

Таблица 8 — Минимальные требования помехоустойчивости для несимметрии напряжений и отклонений частоты на портах электропитания низковольтных СЭП

Электромагнитное явление	Первая обстановка		Вторая обстановка		Критерии приемки (критерий качества функционирования)
	Ссылочный документ	Испытательный уровень	Ссылочный документ	Испытательный уровень	
Несимметрия напряжений [a]	IEC 61000-2-2	2 % — коэффициент обратной последовательности напряжений	IEC 61000-2-4 Класс 3	3 % — коэффициент обратной последовательности напряжений	A
Отклонения частоты	IEC 61000-2-2	±2 %	IEC 61000-2-4	±2 % ±4 %, если электроснабжение отделено от общественных распределительных сетей	A
Скорость изменения частоты		1 %/с		±1 %/с 2 %/с, если электроснабжение отделено от общественных распределительных сетей	A

[a] Не применяют для однофазных СЭП.

5.2.4.2 СЭП с номинальным напряжением свыше 1000 В

5.2.4.2.1 Основной порт электропитания

Определения и пояснения, относящиеся к оценке несимметрии напряжений, приведены в В.5.2.

СЭП или ОМП/ПМП должны соответствовать требованиям помехоустойчивости при испытательных уровнях, установленных в таблице 9. Изготовитель может проверить помехоустойчивость расчетами, имитацией или испытаниями. При верификации должны быть созданы условия номинальной нагрузки.

Таблица 9 — Минимальные требования помехоустойчивости для несимметрии напряжений и отклонений частоты на основных портах электропитания СЭП с номинальным напряжением свыше 1000 В

Электромагнитное явление	Ссылочный документ	Испытательный уровень	Критерий приемки (критерий качества функционирования)
Несимметрия напряжений	IEC 61000-2-4 Класс 2	2 % — коэффициент обратной последовательности напряжений	A [a]
Отклонения частоты	IEC 61000-2-4	±2 % ±4 %, если электроснабжение отделено от общественных распределительных сетей	A [b] A [c]
Скорость изменения частоты		±1 %/с 2 %/с, если электроснабжение отделено от общественных распределительных сетей	A [b] A [c]

5.2.4.2.2 Вспомогательный порт электропитания

Определения и пояснения, относящиеся к оценке несимметрии напряжений, приведены в В.5.2.

Вспомогательные порты электропитания СЭП должны выдерживать при испытаниях на помехоустойчивость испытательные уровни, установленные в таблице 10. Изготовитель может проверить помехоустойчивость расчетами, имитацией или испытаниями.

Таблица 10 — Минимальные требования помехоустойчивости для несимметрии напряжений и отклонений частоты на вспомогательных портах электропитания низкого напряжения СЭП

Электромагнитное явление	Ссылочный документ	Испытательный уровень	Критерий приемки (критерий качества функционирования)
Несимметрия напряжений	IEC 61000-2-4 Класс 3	3 % — коэффициент обратной последовательности напряжений	A
Отклонения частоты	IEC 61000-2-4	±2 % ±4 %, если электроснабжение отделено от общественных распределительных сетей	A A

5.2.5 Влияние системы электроснабжения. Магнитные поля

Не требуется проведение испытаний на помехоустойчивость в соответствии с IEC 61000-4-8 (см. А.3.1 для пояснений).

5.3 Основные требования помехоустойчивости. Высокочастотные электромагнитные помехи

5.3.1 Условия

Минимальные требования помехоустойчивости при проведении испытаний с воздействием высокочастотных помех и критерии приемки установлены в таблицах 11 и 12. Критерии приемки установлены в 5.1.1. Пояснения приведены в А.3.

5.3.2 Первая электромагнитная обстановка

Испытательные воздействия с уровнями в соответствии с таблицей 11 должны быть поданы на СЭП, предназначенные для применения в первой электромагнитной обстановке.

Если ПМП/ОМП сконструированы так, чтобы уровни помехоустойчивости соответствовали таблице 11, то в инструкции по эксплуатации на это оборудование должно быть письменное предупреждение о том, что оно не предназначено для использования в промышленных установках.

Таблица 11 — Минимальные требования помехоустойчивости для СЭП, предназначенных для применения в первой обстановке

Порт	Электромагнитное явление	Основополагающий стандарт, устанавливающий метод испытаний	Испытательный уровень	Критерий приемки (критерий качества функционирования)
Корпус	Электростатические разряды	IEC 61000-4-2	4 кВ (контактный разряд) или 8 кВ (воздушный разряд), если подача контактного разряда невозможна	B
	Радиочастотное электромагнитное поле, амплитудная модуляция	IEC 61000-4-3, см. также 5.3.4	От 80 МГц до 1000 МГц 3 В/м 80 %-ная амплитудная модуляция (1 кГц)	A
	Радиочастотное электромагнитное поле, амплитудная модуляция	IEC 61000-4-3, см. также 5.3.4	От 1,4 ГГц до 2,0 ГГц 3 В/м 80 %-ная амплитудная модуляция (1 кГц)	A
	Радиочастотное электромагнитное поле, амплитудная модуляция	IEC 61000-4-3, см. также 5.3.4	От 2,0 ГГц до 2,7 ГГц 1 В/м 80 %-ная амплитудная модуляция (1 кГц)	A
Порты электропитания (за исключением вспомогательных портов электропитания постоянного тока напряжением менее 60 В)	Наносекундные импульсные помехи	IEC 61000-4-4	1 кВ/5 кГц [a]	B
	Микросекундные импульсные помехи большой энергии[b] 1,2/50 мкс, 8/20 мкс	IEC 61000-4-5	1 кВ [c] 2 кВ [d]	B
	Радиочастотные помехи, наведенные электромагнитным полем, общий несимметричный режим	IEC 61000-4-6, см. также 5.3.4	От 0,15 МГц до 80 МГц 3 В 80 %-ная амплитудная модуляция (1 кГц)	A
Интерфейсы электропитания	Наносекундные импульсные помехи [e]	IEC 61000-4-4	1 кВ/5 кГц Емкостные клещи связи	B
Порты линий измерения и управления процессами	Наносекундные импульсные помехи [e]	IEC 61000-4-4	0,5 кВ/5 кГц Емкостные клещи связи	B
Вспомогательные порты электропитания постоянного тока напряжением менее 60 В	Радиочастотные помехи, наведенные электромагнитным полем, общий несимметричный режим [e]	IEC 61000-4-6, см. также 5.3.4	От 0,15 МГц до 80 МГц 3 В 80 %-ная амплитудная модуляция (1 кГц)	A

[a] При воздействии на порты электропитания с номинальным током менее 100 А применяют непосредственный ввод помехи с использованием устройства связи и устройства разрядки. При воздействии на порты электропитания с номинальным током, равным или превышающим 100 А, применяют непосредственный ввод помехи или емкостные клещи связи без использования устройства разрядки. При использовании емкостных клещей связи испытательный уровень должен быть 2 кВ/5 кГц.

[b] Требование устанавливают только для портов с потребляемым током менее 63 А в условиях облегченной нагрузки в соответствии с 5.1.3. Не допускается превышение номинального импульсного напряжения прочности основной изоляции (см. IEC 60664-1).

[c] Ввод помехи по схеме «линия—линия».

[d] Ввод помехи по схеме «линия—земля».

[e] Требование устанавливают только для портов или интерфейсов, общая длина подключаемых кабелей которых в соответствии с технической документацией изготовителя превышает 3 м.

5.3.3 Вторая электромагнитная обстановка

Испытательные воздействия с уровнями в соответствии с таблицей 12 должны быть поданы на СЭП, предназначенные для применения во второй электромагнитной обстановке. Испытательные воздействия с этими уровнями подают также на низковольтные порты или низковольтные интерфейсы (электропитания, сигналов) СЭП номинальным напряжением свыше 1000 В.

Примечание — Примерами низковольтных портов и интерфейсов СЭП номинальным напряжением свыше 1000 В являются:

- низковольтный порт корпуса вспомогательного, контрольного и защитного оборудования;
- низковольтный порт низковольтного электропитания СЭП;
- низковольтный интерфейс вспомогательного электропитания, распределяемого между основными компонентами СЭП;
- низковольтный интерфейс сигналов, подаваемых основным компонентам СЭП;
- низковольтный порт сигналов технологических процессов СЭП.

Таблица 12 — Минимальные требования помехоустойчивости для СЭП, предназначенных для применения во второй обстановке

Порт	Электромагнитное явление	Основополагающий стандарт, устанавливающий метод испытаний	Испытательный уровень	Критерий приемки (критерии качества функционирования)
Корпус	Электростатические разряды	IEC 61000-4-2	4 кВ (контактный разряд) или 8 кВ (воздушный разряд), если подача контактного разряда невозможна	B
	Радиочастотное электромагнитное поле, амплитудная модуляция	IEC 61000-4-3, см. также 5.3.4	От 80 МГц до 1000 МГц 10 В/м 80 %-ная амплитудная модуляция (1 кГц)	A
	Радиочастотное электромагнитное поле, амплитудная модуляция	IEC 61000-4-3, см. также 5.3.4	От 1,4 ГГц до 2,0 ГГц 3 В/м 80 %-ная амплитудная модуляция (1 кГц)	A
	Радиочастотное электромагнитное поле, амплитудная модуляция	IEC 61000-4-3, см. также 5.3.4	От 2,0 ГГц до 2,7 ГГц 1 В/м 80 %-ная амплитудная модуляция (1 кГц)	A
Порты электропитания (за исключением вспомогательных портов электропитания постоянного тока напряжением менее 60 В)	Наносекундные импульсные помехи	IEC 61000-4-4	2 кВ/5 кГц [a]	B
	Микросекундные импульсные помехи большой энергии [b] 1,2/50 мкс, 8/20 мкс	IEC 61000-4-5	1 кВ [c] 2 кВ [d]	B
	Радиочастотные помехи, наведенные электромагнитным полем, общий несимметричный режим [e]	IEC 61000-4-6, см. также 5.3.4	От 0,15 МГц до 80 МГ 10 В 80 %-ная амплитудная модуляция (1 кГц)	A
Интерфейсы электропитания	Наносекундные импульсные помехи [e]	IEC 61000-4-4	2 кВ/5 кГц Емкостные клещи связи	B
Порты сигнальных интерфейсов	Наносекундные импульсные помехи [e]	IEC 61000-4-4	1 кВ/5 кГц Емкостные клещи связи	B

Окончание таблицы 12

Порт	Электромагнитное явление	Основополагающий стандарт, устанавливающий метод испытаний	Испытательный уровень	Критерий приемки (критерий качества функционирования)
Порты сигнальных интерфейсов	Радиочастотные помехи, наведенные электромагнитным полем, общий несимметричный режим [e]	IEC 61000-4-6, см. также 5.3.4	От 0,15 МГц до 80 МГц 10 В 80 %-ная амплитудная модуляция (1 кГц)	A
Порты линий измерения и управления процессами	Наносекундные импульсные помехи [e]	IEC 61000-4-4	2 кВ/5 кГц Емкостные клещи связи	B
	Микросекундные импульсные помехи большой энергии [f] 1,2/50 мкс, 8/20 мкс	IEC 61000-4-5	1 кВ [d,f]	B
Вспомогательные порты электропитания постоянного тока напряжением менее 60 В	Радиочастотные помехи, наведенные электромагнитным полем, общий несимметричный режим [e]	IEC 61000-4-6, см. также 5.3.4	От 0,15 МГц до 80 МГц 10 В 80 %-ная амплитудная модуляция (1 кГЦ)	A

[a] При воздействии на порты электропитания с номинальным током менее 100 А применяют непосредственный ввод помехи с использованием устройства связи и устройства разрядки. При воздействии на порты электропитания с номинальным током, равным или превышающим 100 А, применяют непосредственный ввод помехи или емкостные клещи связи без использования устройства разрядки. При использовании емкостных клещей связи испытательный уровень должен быть 4 кВ/5 кГц.

[b] Требование устанавливают только для портов с потребляемым током менее 63 А в условиях облегченной нагрузки в соответствии с 5.1.3. Не допускается превышение номинального импульсного напряжения прочности основной изоляции (см. IEC 60664-1).

[c] Ввод помехи по схеме «линия—линия».

[d] Ввод помехи по схеме «линия—земля».

[e] Требование устанавливают только для портов или интерфейсов, общая длина подключаемых кабелей которых в соответствии с технической документацией изготовителя превышает 3 м.

[f] Требование устанавливают только для портов, общая длина подключаемых кабелей которых в соответствии с технической документацией изготовителя превышает 30 м. Если используется экранированный кабель, применяют прямую подачу помехи на экран кабеля. Для полевых шин или других сигнальных интерфейсов, в которых использование устройств защиты от импульсных перенапряжений является непрактичным по техническим причинам, требования не устанавливают. Требования также не устанавливают, если нормальное функционирование испытуемого оборудования не может быть обеспечено из-за влияния устройств связи — развязки.

Электромагнитные явления непригодны для применения при испытаниях портов номинальным напряжением изоляции свыше 1000 В. Такие порты для упрощения именуются высоковольтными портами СЭП номинальным напряжением свыше 1000 В.

Примечание — Примерами высоковольтных портов СЭП номинальным напряжением свыше 1000 В являются:

- высоковольтный порт корпуса трансформатора, секции преобразователя и двигателя;
- высоковольтный порт первичной обмотки трансформатора;
- высоковольтный интерфейс высоковольтного электропитания, распределяемого между основными компонентами СЭП;
- высоковольтный интерфейс высоковольтных сигналов, подаваемых основным компонентам СЭП.

5.3.4 Помехоустойчивость при воздействии электромагнитных полей

СЭП, имеющие:

- номинальное напряжение не выше 500 В;
- номинальный ток не выше 200 А;
- общую массу не более 250 кг и
- высоту, ширину и глубину не более 1,9 м,

подлежат испытаниям по IEC 61000-4-3 и IEC 61000-4-6, см. 5.3.2 и 5.3.3 настоящего стандарта.

Если СЭП имеет большие размеры или более высокие номинальные параметры, чем указано выше, то изготовитель может:

- провести испытания СЭП по IEC 61000-4-3 и IEC 61000-4-6 либо
- провести испытания субкомпонентов СЭП, восприимчивых к воздействию электромагнитного поля, по IEC 61000-4-3 и IEC 61000-4-6.

Если размеры двигателя слишком велики для его введения в действие на измерительной площадке, он может быть заменен на двигатель меньших размеров при условии, что это не скажется отрицательно на функционировании ОМП/ПМП.

Если испытывают исключительно субкомпоненты, то дополнительно проводят испытания по воздействию на СЭП излучений устройств радиосвязи, обычных для промышленного применения СЭП, как указано в А.3.2.2 приложения А. Результаты этих испытаний действительны лишь для конкретного места размещения, установленного оборудования и частот испытаний.

5.4 Применение требований помехоустойчивости. Статистические аспекты

При выборе критерия приемки для конкретного испытания СЭП необходимо понимать, что результат испытаний носит вероятностный характер. В зависимости от критерия приемки и назначения СЭП вероятностный характер результатов испытаний должен быть учтен путем установления числа испытательных воздействий или продолжительности испытаний.

Требования помехоустойчивости в 5.3 должны проверяться типовыми испытаниями на представительном образце. Изготовитель или поставщик должны обеспечить поддержание качества продукции в отношении ЭМС путем использования системы качества.

Результаты измерений, полученные для СЭП, установленной в месте эксплуатации, а не на измерительной площадке, должны рассматриваться как относящиеся исключительно к этой установке.

6 Требования электромагнитной эмиссии

6.1 Общие требования электромагнитной эмиссии

Измерения должны проводиться в рабочем режиме, обеспечивающем наибольший уровень эмиссии в полосе частот измерений, соответствующем нормальному применению.

Суммарные сведения о требованиях электромагнитной эмиссии в соответствии с классификацией СЭП (см. 3.2) приведены в таблице 13.

Таблица 13 — Сведения о требованиях электромагнитной эмиссии

Категория	Низкочастотные помехи (порт электропитания)	Напряжение помех (порт электропитания)	Излучаемые помехи (порт корпуса и другие порты)
C1	Оценка соответствия продукции Требования: 6.2.2, 6.2.3.1, или 6.2.3.2, или 6.2.3.3, 6.2.4, 6.2.5. Условия нагрузки B.2.3.3 и B.3.2. Первая электромагнитная обстановка	Оценка соответствия продукции: 6.4.1.1 — таблица 14	Оценка соответствия продукции: 6.4.1.3 — таблица 15; и 6.4.1.2; и 6.4.1.4
C2	Оценка соответствия продукции Требования: 6.2.2, 6.2.3.1, или 6.2.3.2, или 6.2.3.3, 6.2.4, 6.2.5. Условия нагрузки B.2.3.3 и B.3.2. Первая электромагнитная обстановка или электрические сети общего пользования	Оценка соответствия продукции: 6.4.1.1 — таблица 14. Предупреждение в эксплуатационной документации	Оценка соответствия продукции: 6.4.1.3 — таблица 15; и 6.4.1.2; и 6.4.1.4. Предупреждение в эксплуатационной документации
C3	Требования: 6.2.2, 6.2.3.4, 6.2.4, 6.2.5. Условия нагрузки B.2.3.3 и общие правила B.3.3 и B.4. Вторая электромагнитная обстановка	Оценка соответствия продукции: 6.4.2.1 и 6.4.2.2 — таблица 17. Предупреждение в эксплуатационной документации	Оценка соответствия продукции: 6.4.2.3 и 6.4.2.4 — таблица 18. Предупреждение в эксплуатационной документации

Окончание таблицы 13

Категория	Низкочастотные помехи (порт электропитания)	Напряжение помех (порт электропитания)	Излучаемые помехи (порт корпуса и другие порты)
С4	Инженерная практика Требования: 6.2.2, 6.2.3.4, 6.2.4, 6.2.5. Условия нагрузки В.2.3.3 и общие правила В.3.3 и В.4. Вторая электромагнитная обстановка	Инженерная практика: либо 6.4.2.1 и 6.4.2.2 — таблица 17, либо 6.5.1 — план ЭМС и 6.5.2 — таблицы 19 и 20	Инженерная практика: либо 6.4.2.1 и 6.4.2.3 — таблица 18, либо 6.5.1 — план ЭМС и 6.5.2 — таблицы 21 и 22

6.2 Основные нормы низкочастотных электромагнитных помех

6.2.1 Метод оценки соответствия

Соответствие установленным требованиям может быть проверено расчетами, имитацией или испытаниями.

6.2.2 Коммутационный провал

Коммутационные провалы измеряют на портах электропитания с использованием осциллографа (см. В.1.1). Коммутационные провалы создаются управляемыми преобразователями с линейной коммутацией (см. 2.5.4.1 IEC 60146-1-1).

Если известно, что входные цепи СЭП не создают коммутационных провалов или создают провалы лишь крайне малой амплитуды (например, диодные выпрямители), коммутационные провалы не учитывают.

Примечание 1 — На практике создание коммутационных провалов следует рассматривать в основном при применении тиристорных преобразователей (линейно коммутируемых). Практическим примером оборудования, которое может быть подвержено воздействию провалов, являются фильтры для защиты от радиопомех. Они могут быть перегружены или подвергнуты повторяющимся перегрузкам.

Примечание 2 — Диодный выпрямитель представляет собой неуправляемый преобразователь с линейной коммутацией, который создает коммутационные провалы пренебрежимо малой амплитуды. Коммутационные провалы в зависимости от реализации ШИМ могут создавать некоторые самокоммутируемые преобразователи (например, непрямые преобразователи источников напряжения инверторного типа с активным окончанием фронта).

Если коммутационные провалы необходимо учитывать, изготовитель должен предоставить пользователю в эксплуатационной документации следующие сведения:

- значение реактивного сопротивления любого устройства развязки, которое включено в СЭП;
- значения реактивного сопротивления дополнительных устройств развязки (при их наличии), которые могут быть применены вне СЭП для подавления радиопомех (см. В.1.2 приложения В).

Следует учитывать рекомендации по этому вопросу, приведенные в В.1.3.

6.2.3 Гармоники и интергармоники

6.2.3.1 Низковольтные электрические сети общего пользования. Оборудование, относящееся к области применения IEC 61000-3-2

Оборудование может содержать одну или несколько СЭП, а также другие нагрузки.

Если СЭП представляет собой оборудование, относящееся к области применения по IEC 61000-3-2, то применяют требования этого стандарта. Однако если в состав оборудования, относящегося к области применения по IEC 61000-3-2, включены одна или несколько СЭП, требования данного стандарта применяют к комплектному оборудованию, а не к отдельным СЭП. Изготовитель оборудования несет ответственность за определение границы системы и подсистем, к которым применяют требования IEC 61000-3-2, и метода, применяемого при оценке соответствия оборудования установленным требованиям.

6.2.3.2 Низковольтные электрические сети общего пользования. Оборудование, относящееся к области применения IEC 61000-3-12

Если СЭП представляет собой оборудование, относящееся к области применения по IEC 61000-3-12, то применяют требования данного стандарта. Однако если в состав оборудования, относящегося к области применения IEC 61000-3-12, включены одна или несколько СЭП, требования данного стандарта применяют к комплектному оборудованию, а не к отдельным СЭП. Изготовитель оборудования несет ответственность за определение границы системы и подсистем, к которым применяют требования IEC 61000-3-12, и метода, применяемого при подтверждении соответствия оборудования установленным требованиям.

6.2.3.3 Низковольтные электрические сети общего пользования. Оборудование, не относящееся к области применения IEC 61000-3-2 или IEC 61000-3-12

Для оборудования, не относящегося к области применения IEC 61000-3-2 или IEC 61000-3-12 (номинальный ток свыше 75 А), следует применять рекомендации, установленные в IEC 61000-3-4 и в В.4. Если по техническим или экономическим причинам, указанным в приложениях В и С настоящего стандарта, рекомендации, указанные в IEC 61000-3-4 для ступени 1 или ступени 2, не могут быть применены, то следует использовать ступень 3 с учетом приложения В.

Изготовитель должен отразить в документации на СЭП или представить по требованию сведения об уровнях гармонических составляющих тока при номинальных рабочих условиях в процентах номинального тока основной частоты на порте электропитания. Эти сведения могут быть получены путем расчетов, имитации и испытаний.

При расчетах или имитации предполагают, что суммарный коэффициент гармонических составляющих подаваемого напряжения должен быть менее 1 %. Внутреннее полное сопротивление электрической сети полагают чисто индуктивным. Если конкретное место размещения СЭП неизвестно, то при расчетах гармонических токов полагают, что СЭП подключена к точке присоединения с наибольшим значением R_{SI}, допускаемым изготовителем СЭП:

$$R_{SI} = \frac{I_{SC}}{I_{LN}},$$

где I_{SC} — ток короткого замыкания в точке присоединения;

I_{LN} — номинальный потребляемый ток СЭП.

Если изготовитель не устанавливает максимальное значение R_{SI}, то R_{SI} полагают равным 250. Если конкретное место размещения СЭП известно, то используют значение полного сопротивления электрической сети в месте размещения СЭП.

Изготовитель должен рассчитать гармонические составляющие тока до 40-го порядка. Кроме того, должен быть рассчитан полный коэффициент гармонических составляющих тока (с учетом гармоник до 40-го порядка).

Рекомендации по расчету гармоник приведены в А.1 и А.2 IEC 61000-2-6. Рекомендации по суммированию гармоник от различных источников приведены в 7.4 IEC 61000-2-6.

Воздействие интергармоник рассмотрено в В.4.3. Методы расчета приведены в приложении С IEC 61000-2-6.

6.2.3.4 Промышленные электрические сети

Если СЭП предназначена для использования в установке, которая не подключается непосредственно к общественной низковольтной электрической сети, требования IEC 61000-3-2 и IEC 61000-3-12 не применяют. В этом случае должен быть использован приемлемый подход, в котором рассматривается установка в целом (см. В.4).

Примечание — К установке в целом, подключаемой к электрическим сетям напряжением свыше 1000 В, могут быть применены правила поставщика электрической энергии, обычно основанные на требованиях IEC 61000-3-6. Эти правила применяют для установки, а не для отдельных образцов оборудования. Данные правила обычно учитывают реальный гармонический состав тока и искажения напряжения в системе. Эффективный и простой подход представлен в таблице В.2.

Если СЭП имеет номинальное напряжение свыше 1000 В, эмиссия гармонических токов от основного и вспомогательного портов электропитания должна рассматриваться по отдельности.

6.2.4 Колебания напряжения

6.2.4.1 Условия

Оборудование может содержать одну или несколько СЭП, а также другие нагрузки, способные вызвать колебания напряжения.

Примечание 1 — Колебания напряжения могут быть вызваны, например, частым изменением нагрузки СЭП или субгармониками асинхронных двигателей при восстановлении скольжения. Колебания напряжения могут быть также вызваны интергармониками с частотами, несколько отличающимися от основной частоты или частот доминирующих гармоник. Колебания напряжения, как правило, вызываются циклоконвертерами или инверторами источников питания. (См. В.4.3 и В.6.2.) Интергармоники не превышают уровней электромагнитной совместимости, установленных в IEC 61000-2-4 или IEC 61000-2-12.

Примечание 2 — Колебания напряжения зависят от полного сопротивления установки и рабочего цикла нагрузки. При некоторых применениях пользователь может уменьшить колебания напряжения путем регулирования рабочего цикла нагрузки, путем изменения ускорения двигателя или другими методами.

Примечание 3 — Большинство колебаний напряжения зависят от конкретной установки. Поэтому решение этих системных вопросов должно быть возложено на пользователя. Уровни электромагнитной совместимости, приведенные в IEC 61000-2-4 для изменений напряжения, не должны быть превышены, принимая во внимание суммарный эффект от всего оборудования.

6.2.4.2 СЭП, относящиеся к области применения по IEC 61000-3-3 и IEC 61000-3-11

Если СЭП представляет собой оборудование, относящееся к области применения по IEC 61000-3-3, применяют требования данного стандарта. Однако если в состав оборудования, относящегося к области применения по IEC 61000-3-3, включены одна или несколько СЭП, требования данного стандарта применяют к комплектному оборудованию, а не к отдельным СЭП.

Если СЭП представляет собой оборудование, относящееся к области применения по IEC 61000-3-11, применяют требования данного стандарта. Однако если в состав оборудования, относящегося к области применения по IEC 61000-3-11, включены одна или несколько СЭП, требования данного стандарта применяют к комплектному оборудованию, а не к отдельным СЭП.

Примечание — Применение норм колебаний напряжения, установленных в IEC 61000-3-3 и 61000-3-11, возможно лишь в том случае, если известны характеристики нагрузки, представляющей собой оборудование, приводимое в движение. Поэтому только конструктор машины, приводимой в движение, и/или пользователь способны оценить соответствие нормам колебаний напряжения.

6.2.4.3 СЭП, не относящиеся к области применения по IEC 61000-3-3 и IEC 61000-3-11

Для оборудования, не относящегося к области применения по IEC 61000-3-3 и IEC 61000-3-11, создаваемые колебания напряжения в основном зависят от условий нагрузки, и настоящий стандарт требований не устанавливает.

Примечание — К комплектной установке могут быть применены правила, устанавливаемые местными органами власти.

6.2.5 Эмиссия гармоник общего несимметричного режима (низкочастотные общие несимметричные напряжения)

Частота коммутации преобразователей СЭП часто соответствует полосе звуковых частот, в частности полосе частот, обычно используемой в телефонах и системах передачи данных. Для устранения риска воздействия перекрестных помех на кабели телефонов, систем связи и т. д. в эксплуатационных документах на установку должно быть указано, что кабель интерфейса питания должен быть проложен отдельно от сигнальных кабелей, или должны быть установлены альтернативные методы помехоподавления.

6.3 Условия измерений высокочастотных электромагнитных помех

6.3.1 Общие требования

6.3.1.1 Общие условия

Основной причиной создания высокочастотных электромагнитных помех (индустриальных радиопомех) может быть скорость изменения напряжения или тока. Для этого вида электромагнитной эмиссии определяющим является значение du/dt, вызываемое СЭП, и оно может быть получено при выходных токах, меньших, чем номинальный ток СЭП. Поэтому испытания на радиопомехи проводят при малых нагрузках. Испытания должны быть проведены на всех соответствующих портах, а их результаты должны быть однозначно определены и воспроизводимы при последовательных испытаниях каждого порта. Метод испытаний должен соответствовать требованиям 6.2—6.4 и раздела 7 CISPR 11. Особое внимание следует обратить на способ заземления.

Нагрузка должна соответствовать предельным значениям, установленным изготовителем, действительные условия нагрузки должны быть отражены в протоколе испытаний.

6.3.1.2 Кондуктивные электромагнитные помехи

Измерительное оборудование для оценки напряжения радиопомех на сетевых зажимах (порте электропитания) включает в себя эквивалент сети электропитания (50 Ом/50 мкГн, см. CISPR 16-1 и CISPR 11) при возможности применения эквивалента сети либо пробник напряжения, соответствующий требованиям CISPR 16-1, если эквивалент сети неприменим.

Для измерений напряжения сетевых помех СЭП на месте эксплуатации должен быть использован пробник напряжения без использования эквивалента сети (см. пункт 6.2.3 CISPR 11). Пробник напряжения также применяют, если потребляемый ток СЭП превышает 100 А, или входное напряжение СЭП не менее 500 В, или если СЭП имеет в своем составе преобразователь с линейной коммутацией (см. А.4.1.2).

6.3.1.3 Излучаемые электромагнитные помехи

Измерения излучаемых радиопомех от оборудования категорий С1 и С2 проводят на измерительной площадке, соответствующей требованиям CISPR 16-1.

Предпочтительным местом испытаний оборудования категории С3 является измерительная площадка, соответствующая требованиям CISPR 16-1. Однако если это практически невозможно с учетом массы, размеров и потребляемой мощности СЭП, испытания могут быть проведены в местах, не соответствующих требованиям к измерительным площадкам. Проведение испытаний в этих местах должно быть обосновано в протоколе испытаний.

Измерительные расстояния должны соответствовать требованиям 5.2.2 и 7.2.3 CISPR 16-1.

6.3.2 Требования к соединениям

Если СЭП испытывают на измерительной площадке, то испытательная установка, включая расположение и длины силовых и управляющих кабелей, должна соответствовать размещению оборудования при его применении (применениях) по назначению, определенному изготовителем и описанному в эксплуатационной документации (см. 4.3). Испытательная установка должна быть точно определена в протоколе испытаний.

Если СЭП испытывают на месте эксплуатации, то размещение кабелей и устройство заземления должны быть такими же, как при эксплуатации.

6.4 Основные нормы высокочастотных электромагнитных помех

6.4.1 Оборудование категорий С1 и С2

6.4.1.1 Напряжение радиопомех на портах электропитания

Нормы напряжения радиопомех на сетевых зажимах (портах электропитания) установлены в таблице 14.

Таблица 14 — Нормы напряжения радиопомех на сетевых зажимах в полосе частот 150 кГц — 30 МГц

Полоса частот, МГц	Категория С1		Категория С2	
	Квазипиковое значение, дБ(мкВ)	Среднее значение, дБ(мкВ)	Квазипиковое значение, дБ(мкВ)	Среднее значение, дБ(мкВ)
$0{,}15 \le f < 0{,}50$	66 Уменьшение в зависимости от логарифма частоты до 56	56 Уменьшение в зависимости от логарифма частоты до 46	79	66
$0{,}5 \le f \le 5{,}0$	56	46	73	60
$5{,}0 < f < 30{,}0$	60	50	73	60

Если СЭП не соответствует нормам категории С1, в эксплуатационной документации должно быть приведено следующее предупреждение:

Внимание

При использовании в бытовой обстановке это оборудование может нарушать функционирование других технических средств в результате создаваемых радиопомех. В этом случае может потребоваться принятие дополнительных мер по снижению помех.

Примечание — Высокочастотную фильтрацию в общем несимметричном режиме обеспечивают введением емкостных путей связи к земле. Если нейтральный проводник в системе электропитания изолирован от земли или соединен с землей через высокое полное сопротивление (система электропитания информационных технологий, как указано в 312.2.3 IEC 60364-1), эти емкостные пути связи могут быть вредными (см. D.2.2).

6.4.1.2 Порты измерения и управления процессами

Если порты измерения и управления процессами предназначены для подключения к полевым шинам, то эти порты должны соответствовать требованиям к кондуктивным радиопомехам, установленным в стандартах на полевые шины.

Порты измерения и управления процессами, предназначенные для подключения к сетям электросвязи общего пользования, рассматривают как порты связи. К этим портам применяют нормы кондуктивных радиопомех, установленные в CISPR 22 для класса В.

6.4.1.3 Электромагнитная радиация. Порт корпуса

Нормы радиопомех, излучаемых СЭП (порт корпуса, см. определение термина 3.3.4 и рисунок 2), установлены в таблице 15.

Таблица 15 — Нормы излучаемых радиопомех в полосе частот 30 — 1000 МГц

Полоса частот МГц	Категория С1	Категория С2
	Напряженность электрического поля, квазипиковое значение, дБ(мкВ/м)	Напряженность электрического поля, квазипиковое значение, дБ(мкВ/м)
$30 \le f \le 230$	30	40
$230 < f \le 1000$	37	47

Примечание — Измерительное расстояние 10 м.

Если измерения напряженности поля для категории С1 не могут быть проведены при измерительном расстоянии 10 м из-за высоких уровней внешнего шума или по другим причинам, допускается проводить эти измерения на расстоянии 3 м. При использовании измерительного расстояния 3 м результаты измерений приводят к расстоянию 10 м вычитанием 10 дБ из результатов измерений. В этом случае должны быть приняты меры для избежания эффектов ближнего поля, особенно для СЭП значительного размера и на частотах, близких к 30 МГц.

Если СЭП не соответствует нормам категории С1, в эксплуатационной документации должно быть приведено следующее предупреждение:

Внимание

При использовании в бытовой обстановке это оборудование может нарушать функционирование других технических средств в результате создаваемых радиопомех. В этом случае может потребоваться принятие дополнительных мер по снижению помех.

6.4.1.4 Электромагнитная эмиссия от интерфейсов электропитания

Для СЭП, предназначенных для применения в первой электромагнитной обстановке при ограничении электромагнитной эмиссии, применяют указанные ниже способы:

a) Измерения на интерфейсах электропитания допускается не проводить, если длина соответствующих кабелей менее 2 м или если применяется экранированный кабель. Кабель должен иметь высокое качество экранирования на высокой частоте, непрерывную экранировку по всей длине и как минимум соединенную с ПМП и двигателем по окружности.

b) Электромагнитная эмиссия должна быть проверена измерением напряжения радиопомех на интерфейсе электропитания в СЭП в соответствии с CISPR 14, и при этом применяют нормы, установленные в таблице 16.

c) Если применяемые методы помехоподавления не позволяют провести проверку электромагнитной эмиссии в соответствии с перечислением b) (например, при применении методов подавления общих несимметричных помех), то эффективность методов помехоподавления может быть проверена установлением связи между сетевым входным кабелем и сетевым кабелем двигателя при измерении помех на сетевых зажимах в соответствии с 6.4.1.1. Эта связь должна быть установлена при размещении испытуемого оборудования и эквивалента сети на расстоянии 1 м прокладкой кабеля двигателя параллельно сетевому кабелю на расстоянии не более 10 см по длине не менее 0,6 м.

Таблица 16 — Нормы напряжения радиопомех на сетевом интерфейсе

Полоса частот, МГц	Измерения при номинальном значении выходного тока	
	Квазипиковое значение, дБ(мкВ)	Среднее значение, дБ(мкВ)
$0{,}15 \le f < 0{,}5$	80	70
$0{,}50 \le f < 30$	74	64

6.4.2 Оборудование категории С3

6.4.2.1 Информационные требования

Если СЭП не соответствует нормам категорий С1 или С2, то в эксплуатационной документации должно быть установлено, что:

- СЭП данного типа не предназначены для подключения к низковольтным общественным электрическим сетям, питающим электрической энергией жилые здания;
- при подключении СЭП к таким сетям ожидается влияние радиопомех.

Изготовитель должен подготовить инструкцию по монтажу и применению СЭП, включающую в себя рекомендации по помехоподавляющим устройствам.

6.4.2.2 Напряжение помех на порте электропитания

Нормы радиопомех на сетевых зажимах (портах электропитания) СЭП установлены в таблице 17.

Такие же нормы применяют для низковольтных портов электропитания СЭП с номинальным напряжением свыше 1000 В.

Таблица 17 — Нормы напряжения радиопомех на сетевых зажимах в полосе частот 150 кГц — 30 МГц. СЭП, применяемые во второй электромагнитной обстановке. СЭП категории С3

Размер СЭП [a]	Полоса частот, МГц	Квазипиковое значение, дБ (мкВ)	Среднее значение, дБ (мкВ)
$I \leq 100$ А	$0{,}15 \leq f < 0{,}50$ $0{,}5 \leq f < 5{,}0$ $5{,}0 \leq f < 30{,}0$	100 86 90 Уменьшение в зависимости от логарифма частоты до 70	90 76 80 Уменьшение в зависимости от логарифма частоты до 60
100 А < I	$0{,}15 \leq f < 0{,}50$ $0{,}5 \leq f < 5{,}0$ $5{,}0 \leq f < 30{,}0$	130 125 115	120 115 105
Нормы не применяют к порту электропитания, функционирующему при напряжении свыше 1000 В.			
[a] Размеры СЭП подразделяют на две группы в соответствии с номинальным током (I) порта.			

См. также D.2.

Для СЭП с током свыше 100 А, не имеющих специально сконструированных трансформаторов для устранения риска воздействия перекрестных помех на сигнальные кабели, в инструкции по монтажу должно быть указано, что кабель интерфейса питания должен быть проложен отдельно от сигнальных кабелей, или установлены альтернативные методы помехоподавления.

6.4.2.3 Порты измерения и управления процессами

Если порты измерения и управления процессами предназначены для подключения к полевым шинам, то эти порты должны соответствовать требованиям к кондуктивной эмиссии, установленным в соответствующих стандартах, распространяющихся на указанные полевые шины.

Порты измерения и управления процессами, предназначенные для подключения к сетям электросвязи общего пользования, рассматривают как порты связи. К этим портам применяют нормы кондуктивной эмиссии, установленные в CISPR 22 для класса А.

6.4.2.4 Излучаемые электромагнитные помехи. Порт корпуса

Нормы излучаемых СЭП радиопомех (порт корпуса, см. определение термина 3.3.4 и рисунок 2) установлены в таблице 18.

Таблица 18 — Нормы излучаемых радиопомех в полосе частот 30—1000 МГц. СЭП, применяемые во второй электромагнитной обстановке. СЭП категории С3

Полоса частот, МГц	Нормы, квазипиковое значение, дБ (мкВ/м)
$30 \leq f \leq 230$ $230 < f \leq 1\,000$	50 60
Примечание — Измерительное расстояние 10 м.	

Примечание — Таблица 18 будет пересмотрена в будущем с учетом работ, проводимых Специальным международным комитетом по радиопомехам (CISPR/B).

6.4.2.5 Интерфейс электропитания

Для СЭП, предназначенных для применения во второй электромагнитной обстановке, инструкции по монтажу и применению должны содержать необходимые сведения по монтажу интерфейса электропитания, как установлено в 4.3.

6.5 Инженерная практика

6.5.1 СЭП категории С4

Для СЭП категории С4 должны использоваться следующие процедуры.

Общие условия. Существуют некоторые применения, для которых не представляется возможным по техническим причинам обеспечить соответствие СЭП нормам, установленным в таблицах 17 и 18. К ним относятся применения со значительными номинальными параметрами СЭП и специальными техническими требованиями:

- напряжение свыше 1000 В;
- ток свыше 400 А;
- подключение к сетям, изолированным от земли или подключаемым к земле через большое полное сопротивление (системы IT в соответствии с 312.2.3 IEC 60364-1);
- применение, когда требуемое динамическое функционирование ограничено в результате фильтрации.

При указанных применениях оборудования категории С4 пользователь и изготовитель должны совместно подготовить план ЭМС для обеспечения соответствия требованиям ЭМС при применении по назначению (см. приложение Е). В этом случае пользователь определяет характеристики ЭМС обстановки, включающей установку в целом и ее окружение (см. рисунок 5). Изготовитель должен подготовить информацию о типичных уровнях электромагнитной эмиссии, устанавливаемой СЭП. В случае влияния помех применяют методы и процедуры по 6.5.2.

Примечание — Примерами общих методов помехоподавления, применяемых в соответствии с планом ЭМС, являются: широкое применение фильтров, использование специальных трансформаторов, разнесение кабелей и т. д.

Фильтрование в IT-электрических сетях. Применение фильтров в СЭП, подключаемых к промышленным распределительным электрическим сетям, изолированным от земли или подключенным к земле через высокое полное сопротивление, может вызвать риск нарушения безопасности. В случае использования IT-электрических сетей в сложных промышленных системах нормы электромагнитной эмиссии не могут быть установлены. Разнообразие возможных решений, основанных на знании систем, не может быть стандартизовано. Основные рассматриваемые явления связаны с условиями возникновения неисправностей и утечкой тока в фильтрах:

a) Короткое замыкание на землю на стороне двигателя СЭП. Это может вызвать срабатывание систем мониторинга и привести к непреднамеренной остановке процесса;

b) Короткое замыкание на землю на стороне двигателя, которое может привести к воздействию общего несимметричного напряжения на расположенное поблизости оборудование;

c) Ложное обнаружение неисправности системой мониторинга из-за увеличенной емкости на землю, которое будет приводить к непреднамеренной остановке процесса.

Решение должно быть основано на анализе каждого конкретного случая.

6.5.2 Нормы помех вне границы установки для СЭП категории С4. Пример распространения помех

6.5.2.1 Общие положения

Для СЭП, применяемых во второй электромагнитной обстановке, пользователь должен принять меры к тому, чтобы повышенный уровень помех не оказывал влияния на соседние низковольтные электрические сети, даже если распространение помех происходит через электрическую сеть среднего напряжения.

В случае влияния помех в соседней низковольтной электрической сети или в случае разногласий между пользователем СЭП (например, внутри установки 2, см. рисунок 5) и пользователем оборудования — рецептора помех в другой электрической сети (например, внутри установки 1) необходимо в первую очередь установить, что наблюдается влияние помех на оборудование — рецептор (установка 1), когда работает СЭП — предполагаемый эмиттер помех (установка 2).

6.5.2.2 Влияние помех из-за проводимости

Измерения в этом случае проводят на низковольтной вторичной обмотке трансформатора среднего напряжения установки (установка 1), где применяется оборудование — рецептор помех (см. рисунок 5 для точки измерения). При этом должны быть выполнены требования таблиц 19—21, включая сохранение внешнего шума на установленном уровне.

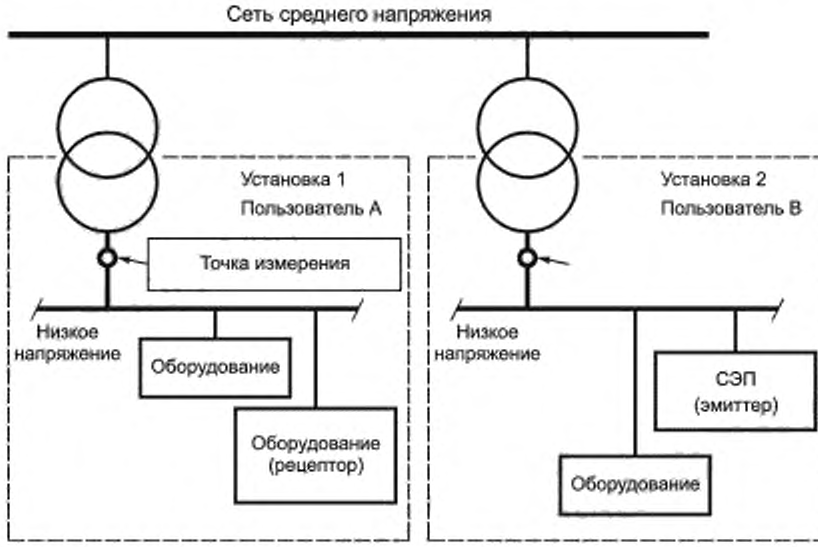


Рисунок 5 — Распространение помех

Примечание — Данный метод может быть применен к различным частям одной и той же установки при использовании СЭП номинальным напряжением свыше 1000 В применительно к нормам, указанным в плане ЭМС. В этом случае измерения напряжений при распространении помех проводят на низковольтной вторичной обмотке высоковольтного трансформатора (часть 1 установки), электрически ближайшей к СЭП, рассматриваемой как эмиттер помех (см. рисунок 6 для точки измерения).

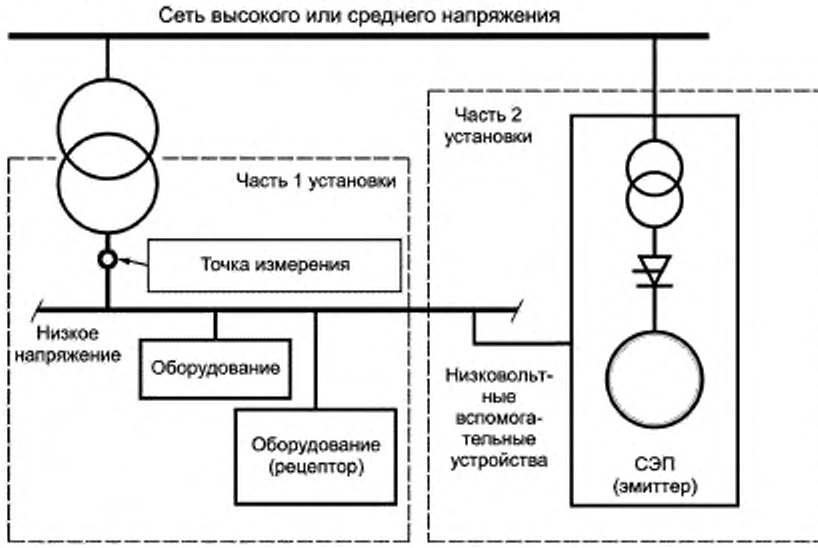


Рисунок 6 — Распространение помех в установке, включающей в себя СЭП номинальным напряжением свыше 1000 В

Если установка (см. рисунок 5) применяется в первой электромагнитной обстановке, напряжение помех должно соответствовать нормам, установленным в таблице 19.

Таблица 19 — Нормы распространения напряжений радиопомех (вне СЭП, в первой электромагнитной обстановке)

Полоса частот, МГц	Квазипиковое значение, дБ(мкВ)	Среднее значение, дБ (мкВ)
$0,15 \le f < 0,50$	66 Уменьшение в зависимости от логарифма частоты до 56	56 Уменьшение в зависимости от логарифма частоты до 46
$0,5 \le f \le 5,0$	56	46
$5,0 < f < 30,0$	60	50

Если установка 1 на рисунке 5 или часть 1 установки на рисунке 6 применяется во второй электромагнитной обстановке, напряжение помех должно соответствовать нормам, установленным в таблице 20.

Таблица 20 — Нормы распространения напряжений радиопомех (вне СЭП, во второй электромагнитной обстановке)

Полоса частот, МГц	Квазипиковое значение, дБ(мкВ)	Среднее значение, дБ (мкВ)
$0,15 \le f < 0,50$	79	66
$0,5 \le f \le 5,0$	73	60
$5,0 < f < 30,0$	73	60

Если в отсутствие функционирования СЭП — предполагаемого источника помех — уровни внешнего шума превышают нормы, установленные в таблицах 19 и 20, а при функционировании СЭП могут быть выявлены частоты, на которых уровни радиопомех превышают измеренные уровни шума, то считают, что данная СЭП может рассматриваться как не соответствующая нормам радиопомех.

6.5.2.3 Влияние помех из-за электромагнитного излучения

6.5.2.3.1 Излучения на частотах свыше 30 МГц

В случае влияния помех уровни излучаемых радиопомех должны быть измерены на расстоянии 10 м от границы установки, если влияние помех выявлено в первой электромагнитной обстановке, и на расстоянии 30 м от границы установки, если влияние помех выявлено во второй электромагнитной обстановке. Измеренные значения напряженности поля должны соответствовать таблице 21.

Таблица 21 — Нормы распространения излучаемых радиопомех на частотах свыше 30 МГц

Полоса частот, МГц	Напряженность электрического поля, квазипиковое значение, дБ (мкВ/м)
$30 \le f \le 230$	30
$230 < f \le 1\,000$	37

Если в отсутствие функционирования СЭП — предполагаемого источника помех — уровни внешнего шума превышают нормы, установленные в таблице 21, а при функционировании СЭП могут быть выявлены частоты, на которых уровни радиопомех превышают измеренные уровни шума, то считают, что данная СЭП может рассматриваться как не соответствующая нормам радиопомех.

Уровни излучаемых радиопомех от СЭП должны быть снижены до значений меньших, чем установленные нормы, или до меньших уровней внешнего шума, в зависимости от того, что больше.

См. также А.4.3.

6.5.2.3.2 Излучения на частотах 0,15—30 МГц

В случае влияния помех уровни излучаемых радиопомех должны быть измерены на расстоянии 10 м от границы установки, если влияние помех выявлено в первой электромагнитной обстановке, и на расстоянии 30 м от границы установки, если влияние помех выявлено во второй электромагнитной обстановке.

При измерениях используют рамочную антенну по CISPR 16-1. Измеренные значения напряженности поля не должны превышать норм, установленных в таблице 22 на частотах выявленного влияния помех.

Таблица 22 — Нормы излучаемых радиопомех на частотах ниже 30 МГц

Полоса частот, МГц	Напряженность магнитного поля, выраженная в единицах напряженности электрического поля, квазипиковое значение, дБ (мкВ/м)
$0,15 \le f \le 0,49$	75
$0,49 < f \le 3,95$	65
$3,95 < f \le 20$	50
$20 < f \le 30$	40

6.6 Применение требований электромагнитной эмиссии. Статистические аспекты

Настоящий подраздел применяют только к СЭП категорий С1, С2, С3.

Соответствие СЭП категорий С1, С2, С3 проверяют проведением типовых испытаний на одном репрезентативном образце. Изготовитель или поставщик должны обеспечить с помощью системы качества поддержание характеристик ЭМС производимых СЭП.

В случае разногласий СЭП категорий С1, С2, С3 должны рассматриваться как не соответствующие требованиям настоящего стандарта только в том случае, если продукция не соответствует требованиям статистической оценки, установленным в разделе 11 CISPR 11. Поэтому оценка должна быть проведена на аттестованной измерительной площадке.

Приложение А
(справочное)

Методы ЭМС

А.1 Общий обзор явлений, относящихся к ЭМС

А.1.1 Электромагнитные явления

Сведения о многих электромагнитных явлениях приведены в IEC 61000-2-5. Определения низкочастотных электромагнитных явлений приведены в IEC 61000-2-1.

При функционировании СЭП к установившемуся состоянию процесса добавляются гармонические составляющие из-за нелинейности преобразователя и/или инвертора и высокочастотные электромагнитные явления из-за быстрого переключения силовых электронных устройств преобразователя и/или инвертора. Поэтому СЭП может создавать как низкочастотные, так и высокочастотные электромагнитные помехи.

С другой стороны, аппараты или системы, находящиеся вблизи СЭП, могут создавать низкочастотные и высокочастотные помехи, которые могут воздействовать на функционирование СЭП.

Электромагнитные помехи, которые должны рассматриваться при введении в действие и эксплуатации СЭП, использующих силовую электронику, могут быть классифицированы. Каждое из электромагнитных явлений может рассматриваться в качестве низкочастотной или высокочастотной помехи. В настоящем стандарте границу между низкими и высокими частотами принимают равной 9 кГц в соответствии с документами Международного союза электросвязи (МСЭ).

Для СЭП рассматривают:

- основные частоты менее 9 кГц, специально создаваемые для обеспечения питания двигателя;
- в качестве вторичного явления — частоты более 9 кГц, которые могут использоваться в системах управления, например в широтно-импульсном модуляторе, управляющем инвертором, в микропроцессорных генераторах.

В каждом случае идентифицируются кондуктивные и излучаемые электромагнитные помехи.

В отношении проводимости интерес представляют:

- несимметричное напряжение, характеризующее помехи, возникающие между входными (выходными) выводами оборудования;
- общее несимметричное напряжение, характеризующее помехи, возникающие между средней точкой входных или выходных выводов оборудования и землей или опорным заземляющим соединением.

Приведенный выше текст является пояснением к помехам, вызванным проводимостью; определения приведены в IEC 60050(161).

В отношении излучения интерес представляют:

- электромагнитное поле в ближней зоне: расстояние до (паразитного) передатчика менее $\lambda/2\pi$;
- электромагнитное поле в дальней зоне: расстояние до (паразитного) передатчика более $\lambda/2\pi$,

где λ — длина волны рассматриваемого сигнала.

При изучении электромагнитной совместимости системы рассматривают каждый из этих случаев с точки зрения электромагнитной эмиссии и устойчивости к электромагнитным помехам.

В таблице А.1 обобщена эта классификация.

Таблица А.1 — Обзор явлений, относящихся к ЭМС

Частота	Распространение помех	Связь		Электромагнитная эмиссия	Устойчивость к электромагнитным помехам
Низкие частоты $0 \le f < 9$ кГц	Проводимость	Общий несимметричный режим		Гармоники, кратные трем (нулевая последовательность) Дифференциальные токи	Напряжение промышленной частоты
		Симметричный режим		Гармоники, интергармоники и коммутационные провалы Последовательности сетевых сигналов	Коммутационные провалы Колебания напряжения Провалы напряжения и кратковременные перерывы питания Импульсные перенапряжения Фазовые колебания Несимметричные напряжения Отклонения частоты Составляющие постоянного тока в сетях

Окончание таблицы А.1

Частота	Распространение помех	Связь		Электромагнитная эмиссия	Устойчивость к электромагнитным помехам
Низкие частоты $0 \le f < 9$ кГц	Излучение	Поле ближней зоны	Магнитная связь	Магнитное поле	Магнитное поле
			Емкостная связь	Электрическое поле	Электрическое поле
		Поле дальней зоны			
Высокие частоты 9 кГц $\le f$	Проводимость	Общий несимметричный режим		Наведенные радиочастотные напряжения и токи	Наведенные радиочастотные напряжения и токи Однонаправленные переходные процессы
		Симметричный режим			Наведенные радиочастотные напряжения и токи Однонаправленные переходные процессы
	Излучение	Поле ближней зоны		Электрическое поле (большое полное сопротивление) Магнитное поле (низкое полное сопротивление)	Импульсные магнитные поля (переносные радиопередатчики) Переносные радиопередатчики
		Поле дальней зоны		Электромагнитные поля	Радиочастотные электромагнитные поля
Широкий спектр		Воздушный разряд Контактный разряд			

Примечание — В настоящем стандарте граница между низкими и высокими частотами равна 9 кГц в соответствии с установившейся практикой МЭК. Эта терминология не относится к вещательным полосам частот.

Опыт промышленной эксплуатации показал, что основными причинами несовместимости являются кондуктивные электромагнитные помехи; возможное исключение составляют помехи от переносных радиопередатчиков. В настоящем стандарте рассматриваются помехи, специфичные для применения СЭП.

А.1.2 Уровни электромагнитной совместимости

Для обеспечения ЭМС электромагнитная эмиссия от оборудования и электромагнитные помехи, воспринимаемые этим оборудованием, должны быть измерены и охарактеризованы. Различные уровни величин, относящихся к электромагнитным помехам и устойчивости к электромагнитным помехам, которые должны быть известны, представлены на рисунке А.1.

А.1.3 Применение СЭП и ЭМС

Область применения СЭП слишком велика, чтобы составить полный перечень применений. Тем не менее примеры, приведенные в тексте приложения, показывают, что условия электромагнитной обстановки очень различны. Как следует из определения, электромагнитная совместимость в большей степени зависит от окружающей электромагнитной обстановки, чем от характеристик самого оборудования. Любая эффективная инженерная практика должна учитывать это обстоятельство. Например, ограничение электромагнитной эмиссии в жилых зданиях должно отличаться от ограничений эмиссии, касающихся прокатного стана на промышленном предприятии.

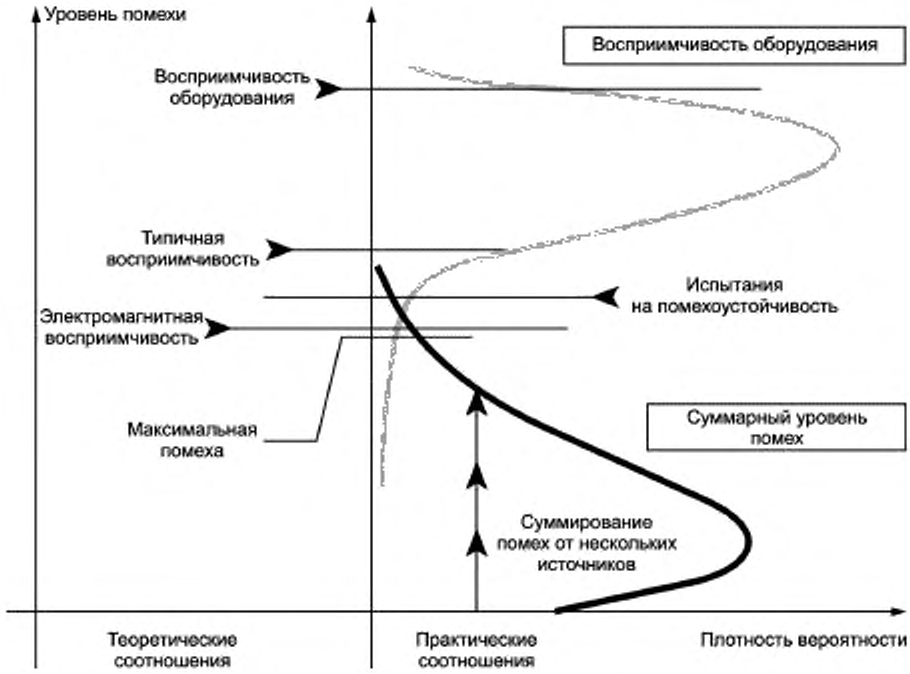


Рисунок А.1 — Соотношение между электромагнитными помехами и устойчивостью к электромагнитным помехам

Ниже приводятся примеры применения СЭП:

- механические станки, роботы, испытательное оборудование, используемое в производстве, испытательные стенды;
- машины для изготовления бумаги, текстиля, каландровые машины в каучуковой промышленности;
- технологические линии по производству пластмасс или металла, прокатные станы;
- оборудование для измельчения цемента, печи для обжига и сушки цемента, растворосмесители, центрифуги, экструдеры;
- сверлильные станки;
- конвейеры, погрузочно-разгрузочные устройства, подъемное оборудование (краны, эстакады и т. д.);
- корабельные двигатели и т. д.;
- насосы, вентиляторы и т. д.

Указанные выше применения СЭП относятся к области применения настоящего стандарта. Однако средства автотранспорта с электродвигателями и средства электрической тяги из области применения настоящего стандарта исключены (см. раздел 1).

А.2 Условия нагрузки, относящиеся к высокочастотным электромагнитным явлениям

А.2.1 Условия испытаний, относящиеся к испытаниям на электромагнитную эмиссию

Нагрузка на двигатель обычно оказывает малое влияние на характеристики ЭМС СЭП. Поэтому нет необходимости в испытаниях СЭП для проверки характеристик электромагнитной эмиссии от СЭП при всех условиях нагрузки. Испытания проводят только при нагрузке, являющейся представительной для всех создаваемых электромагнитных помех. Изготовитель должен подтвердить, что условия нагрузки, которые он выбрал для испытаний, соответствуют этому критерию.

Излучаемые и кондуктивные электромагнитные помехи, создаваемые СЭП, в основном вызываются резкими изменениями ее выходного напряжения, используемого при генерировании выходной мощности на низкой частоте или на постоянном токе. Спектр изменений напряжения может иметь достаточную энергию при высоких частотах, чтобы СЭП генерировала излучения от входных силовых кабелей, корпуса, кабелей двигателя и корпуса двигателя. Так как излучение электромагнитной энергии вызывается изменениями напряжения, испытания должны проводиться в условиях, когда изменения напряжения имеют наибольшие составляющие высокой частоты. В проведении испытаний при других условиях нет необходимости.

Резкость изменений выходного напряжения зависит от скорости переключения устройства питания, используемого в СЭП. Транзисторы (IGBT) являются весьма быстродействующими устройствами, которые в сочетании с

характеристикой восстановления диодов, применяемых в некоторых типах инверторов, могут создавать значения d*U*/d*t* более 1000 В/мкс. Следует отметить, что крутизна характеристики восстановления диода является основной причиной высокого значения d*U*/d*t*. Даже если уровень тока восстановления зависит от нагрузки, крутизна характеристики восстановления диода не зависит в той же степени от уровня нагрузки. Следует также заметить, что мероприятия по уменьшению резкости изменений напряжения должны учитывать эффекты насыщения фильтрующих элементов (например, насыщение помехоподавляющих индукторов).

С другой стороны, важно учитывать воздействие пассивных емкостных, активных или индуктивных компонентов силовой цепи, таких как демпфирующие компоненты, используемые для регулирования степени повышения выходного напряжения. При наличии этих устройств выходной сигнал может иметь значение d*U*/d*t*, которое зависит от нагрузки. В таком случае важно, чтобы СЭП испытывалась при наихудшем значении d*U*/d*t*, возникающем при функционировании СЭП.

А.2.2 Условия нагрузки при испытаниях на помехоустойчивость

Нагрузка на двигатель обычно оказывает малое влияние на характеристики ЭМС СЭП. Поэтому нет необходимости в испытаниях СЭП для проверки характеристик помехоустойчивости СЭП при всех условиях нагрузки. Испытания проводят только при нагрузке, являющейся представительной для всех случаев восприимчивости. Изготовитель должен подтвердить, что условия нагрузки, которые он выбрал для испытаний, соответствуют этому критерию.

Обычно условия нагрузки не влияют на устойчивость СЭП при воздействии высокочастотных и низкочастотных помех. Нарушения подачи электропитания и работы устройств управления в целом связаны с уровнями напряжения, а не тока. Испытания при низкой нагрузке не позволяют обнаружить незначительные изменения установленных уровней работы защитных схем, то есть перегрузки по току и напряжению. Если эти уровни являются критичными для нормальной работы СЭП, испытание должно проверить устойчивость к помехам в этих рабочих точках.

Если применяется критерий проверки создаваемого крутящего момента, то нагрузка должна быть на таком уровне, чтобы можно было измерить возмущения крутящего момента, связанные с устойчивостью к низкочастотным или высокочастотными помехам. Для этого потребуются двигатель и прибор, измеряющий крутящий момент. Двигатель должен работать при нагрузке, которая используется в электромагнитной обстановке проводимых испытаний. Если применяются методы косвенного измерения крутящего момента, то СЭП должна работать при таком уровне нагрузки, который будет достаточным для измерения любого возмущения крутящего момента.

А.2.3 Испытания под нагрузкой

Для проверки характеристик ЭМС СЭП могут проводиться испытания при низкой нагрузке, т. е. испытания с двигателем, работающим без нагрузки, если соблюдаются указанные выше условия. Испытания могут проводиться даже с использованием пассивных силовых резисторов и индукторов, которые воспроизводят условия нагрузки двигателя. Также важно отметить, что кожух двигателя может действовать в качестве элемента антенны. Если применяется пассивная нагрузка, также должно быть воспроизведено воздействие этой антенны.

Изготовитель СЭП должен подтвердить, что нагрузка СЭП во время любого испытания обеспечит создание наиболее неблагоприятных или наиболее чувствительных условий для конкретного оборудования. Такое подтверждение может быть получено посредством испытаний представительного образца либо расчетами, либо имитацией.

А.3 Некоторые аспекты устойчивости к электромагнитным помехам

А.3.1 Магнитное поле промышленной частоты

Испытания в соответствии с IEC 61000-4-8 обычно проводят, если используются компоненты, восприимчивые к магнитным полям. В СЭП часто используются датчики тока с использованием эффекта Холла. Однако эти датчики сконструированы для применения в местах, где существуют высокие уровни магнитных полей (в непосредственной близости к силовым кабелям). Напряженность поля в точках размещения датчиков намного выше, чем испытательные уровни в соответствии с IEC 61000-4-8. Например, может быть рассчитано, что ток силой 10 А в одиночном бесконечном проводнике создает на расстоянии 5 мм магнитное поле напряженностью 320 А/м. Следовательно, может быть сделан вывод, что уровни магнитных полей, создаваемых при испытаниях на помехоустойчивость, незначительны в сравнении с реальной электромагнитной обстановкой, в которой применяется восприимчивый компонент.

А.3.2 Испытания на устойчивость к электромагнитному полю

А.3.2.1 Электромагнитные поля низкого уровня

Промышленное, научное и медицинское (ПНМ) радиочастотное оборудование, некоторые сварочные аппараты, сушильные устройства и т. д. могут быть источниками электромагнитных полей низкого уровня. Эти устройства применяются в жилых и промышленных зонах. Ожидаемая результирующая напряженность поля, воздействующего на порт корпуса СЭП, может быть менее 3 В/м.

Имеющийся опыт применения СЭП показывает, что если реализуется внутренняя эксплуатационная готовность, то излучаемые электромагнитные поля от других СЭП и другие электромагнитные поля низкого уровня от радиовещательных станций не являются причинами для жалоб пользователей СЭП.

А.3.2.2 Дополнительные испытания

Напряженность поля понижается обратно пропорционально расстоянию между передающей антенной и возможным устройством — рецептором помех — и увеличивается пропорционально квадратному корню из мощности,

подаваемой на антенну. Поэтому следует уделять внимание передатчикам, которые могут работать на расстоянии около 1 м к СЭП. Эти устройства связи являются доминирующими источниками излучаемых помех, воздействующими на электронное оборудование. Примером обычных локальных источников непрерывных высокочастотных помех является передвижное оборудование радиосвязи, такое как переносные приемопередатчики или беспроволочные телефоны.

Крупные СЭП не могут устанавливаться и правильно функционировать на измерительной площадке (в экранированной камере) для испытаний по IEC 61000-4-3. Поэтому для проверки устойчивости к помехам полностью собранных СЭП, если испытания субкомпонентов были проведены, допускается проведение альтернативного дополнительного испытания с использованием в качестве источников помех устройств радиосвязи, обычно применяемых в промышленных зонах.

При проведении испытаний СЭП функционирует и контролируется в соответствии с 5.1.3 при нормальных рабочих условиях (например, при закрытых дверцах шкафов).

Так как таких испытаний в экранированных помещениях не проводят, могут использоваться лишь те радиопередатчики, которые в соответствии с национальными правилами допускаются к применению в данном месте размещения. Рекомендуется применение следующих радиопередатчиков:

- переносных радиостанций, которые обычно применяются в непосредственной близости к установкам пользователя;

- цифровых мобильных радиотелефонов, если их применение не запрещено в местах размещения вблизи установок пользователя и если они способны создавать помехи при номинальной мощности.

Радиопередатчики должны иметь полностью заряженные батареи, источники питания должны работать при полной мощности. Если применяется регулировка мощности излучения радиопередатчика (или заряда батареи), необходимо принять меры, чтобы мощность (заряд) не была снижена. Рекомендуется, чтобы изготовитель установил и представил пользователю перечень и характеристики радиопередатчиков (тип, мощность, частоты), используемых при испытаниях.

Радиопередатчик держат в руках вблизи вертикальной стенки ОМП/ПМП. Ближайшее расстояние антенны радиопередатчика к СЭП должно быть равно 0,5—1 м. Радиопередатчик переключают из режима «Прием» в режим «Передача» и обратно. Необходимо обеспечить, чтобы время работы радиопередатчика в режиме «Передача» было не меньше, чем время, необходимое для реакции СЭП. Если для создания помех применяют телефон, не имеющий переключения из режима «Прием» в режим «Передача», ведут передачу с номера абонента.

Следует проводить не менее трех радиопередач при каждой ориентации антенны (вертикальной и горизонтальной в плоскости, параллельной поверхности СЭП и перпендикулярной к поверхности СЭП (при направлении антенны на СЭП).

Данную процедуру проводят:

- не менее чем в пяти позициях на каждой вертикальной поверхности СЭП;

- для всех отверстий на этих вертикальных поверхностях, при этом вентиляционные решетки рассматривают как отверстия;

- на всех поверхностях двигателя, включающего датчики.

Вся процедура должна быть повторена не менее чем для двух частот радиопередачи.

А.4 Метод измерения высокочастотных электромагнитных помех

А.4.1 Полное сопротивление/эквивалент сети питания

А.4.1.1 Схема эквивалента сети питания

Так как источник высокочастотных помех внутри СЭП имеет конкретное полное сопротивление, на измерение напряжения помех влияет полное сопротивление электрической сети. Полное сопротивление электрической сети может рассматриваться как индуктивное, особенно на низких частотах. Вместе с тем из-за различных емкостей, имеющихся в системе, могут возникать резонансы. Для дополнительной информации см. 6.6 IEC 61000-2-3 (1992).

Поэтому следует по возможности использовать эквивалент сети питания, чтобы стандартизовать полное сопротивление источника питания, используемого при испытаниях, что улучшает повторяемость испытаний на различных измерительных площадках.

Характеристики различных эквивалентов сети установлены в 5.1 CISPR 16-1 (2002). Применительно к полосе частот измерений, установленной в настоящем стандарте, допускается применение эквивалентов сети 50 Ом/50 мкГн или 50 Ом/50 мкГн + 5 Ом. Между 150 кГц и 30 МГц испытуемое оборудование (СЭП) представляет собой полное сопротивление цепи, состоящей из резистора 50 Ом параллельно с индуктивностью 50 мкГн, независимо от полного сопротивления подводимой электрической сети.

Эквивалент сети питания содержит одинаковые цепи для каждой из фаз. Нейтральный проводник подключается через цепь, идентичную используемой в каждой из фаз.

А.4.1.2 СЭП, с которой не может использоваться эквивалент сети питания

А.4.1.2.1 Причины невозможности использования эквивалента сети питания

На низших частотах измерений дроссели внутри эквивалента сети питания 50 Ом/50 мкГн добавляют 50 мкГн к полному сопротивлению сети электропитания. Дроссели внутри эквивалента сети питания 50 Ом/50 мкГн + 5 Ом добавляют к полному сопротивлению сети 300 мкГн. Такое дополнительное полное сопротивление может нару-

шить нормальную работу некоторых СЭП (например, коммутационные провалы становятся слишком большими при сильном токе и малых углах зажигания, если индуктивность источника питания слишком высока). В этих случаях эквивалент сети питания не применяют.

Эквиваленты сети питания, указанные выше, рассчитаны на ток до 100 А, поэтому они не могут использоваться для СЭП, рассчитанных на более высокие значения тока. Для очень больших СЭП (например, с током свыше 400 А) полное сопротивление сети электропитания будет ниже, чем полное сопротивление эквивалента сети питания. В результате использование эквивалента сети питания будет приводить к чрезвычайно высоким показаниям при измерениях.

При напряжениях питания, превышающих номинальное значение 400 В, эквиваленты сети питания трудно приобрести.

В таких случаях СЭП подключают непосредственно к сети электропитания и напряжение помех допускается измерять пробником напряжения с высоким сопротивлением.

А.4.1.2.2 Пробник напряжения с высоким полным сопротивлением

Если эквивалент сети питания не используется, напряжение помех может быть измерено пробником напряжения с высоким сопротивлением в соответствии с 5.2.2 CISPR 16-1 (2002). Так как ток промышленной частоты не проходит через пробник, он может использоваться даже с СЭП с очень высокими номинальными токами.

При подборе емкости и номинального напряжения конденсатора данный пробник может использоваться в системах электроснабжения напряжением по крайней мере до 1000 В. Если емкость конденсатора снижается, его влияние на результаты измерений следует проверять при калибровке, как установлено в CISPR 16-1.

Пробник напряжения подключают между линией и точкой заземления. Если ПМП/ОПМ имеет заземленный металлический корпус, то этот корпус может приниматься за точку заземления. Пробник подключают к выводам питания в непосредственной близости к их входу в ПМП/ОМП. Соединения с пробником должны быть как можно короче, желательно менее 0,5 м.

В CISPR 16-1 приведено предупреждение о необходимости минимизировать область контура, образовавшуюся между выводом, соединенным с пробником, испытуемым конденсатором и точкой заземления, с тем чтобы снизить восприимчивость к магнитным полям.

А.4.1.2.3 Альтернативный метод для сильноточной СЭП

В некоторых случаях использование пробника с высоким полным сопротивлением может оказаться затруднительным из-за обеспечения безопасности при смене фазных проводников, и показатели могут быть на несколько десятков децибелов выше, чем показатели, полученные при измерении с использованием эквивалента сети питания (из-за несогласованного сопротивления).

Альтернативный метод, который использовался в некоторых странах на протяжении нескольких лет, заключается в использовании в качестве пробника эквивалента сети питания с малым током (например, 25 А) даже с сильноточной СЭП (около нескольких сотен ампер). Описание метода приведено в А.5 CISPR 16-2 (2003). СЭП при этом не отключают от сети электропитания.

Зажимы подключения нагрузки эквивалента сети питания должны быть соединены с линиями питания СЭП на входных зажимах кабелем длиной 1 м. Между точкой соединения и эквивалентом сети питания должна быть некоторая индуктивность (например, соединительные провода). Зажимы подключения питания эквивалента сети должны оставаться открытыми (например, без соединения с периферийным оборудованием). Измерительный приемник должен быть подключен к эквиваленту сети питания, как обычно. Результаты измерения, полученные при использовании этого метода, в достаточной степени близки к результатам, получаемым при использовании виртуального эквивалента сети питания с током несколько сотен ампер.

А.4.2 Проведение измерений высокочастотных электромагнитных помех

А.4.2.1 Измерительные приборы

А.4.2.1.1 Цель информации

Для полной информации необходимо обращаться к настоящему стандарту, CISPR 11 и CISPR 16-1. Для тех пользователей настоящего стандарта, которые не знакомы с методами измерения радиочастотных помех, в настоящем подпункте приведены некоторые дополнительные разъяснения.

А.4.2.1.2 Анализаторы спектра

Анализаторы спектра зачастую используются для оценки высокочастотных помех. Однако многие анализаторы спектра не соответствуют полностью требованиям CISPR 16-1, и поэтому могут возникнуть следующие проблемы.

Если входная избирательность недостаточна, может возникнуть интермодуляция, которая приведет к получению неверных показателей. Некоторые анализаторы спектра не имеют соответствующих полос пропускания, что также может привести к ошибкам.

Для нормального сканирования анализаторы спектра используют пиковые детекторы. Однако стандарты CISPR требуют применения измерительных приемников со специальными детекторами — квазипиковым и детектором средних значений. Иногда квазипиковый детектор называют «детектором CISPR». Некоторые анализаторы спектра используют их как дополнительные. Для квазипиковых детекторов и детекторов средних значений в соответствии с CISPR 16-1 требуются высокие способности выдерживать перегрузки, что может оказаться проблематичным для многих анализаторов спектра.

Если анализатор спектра полностью соответствует требованиям CISPR 16-1, то это должно быть указано изготовителем анализатора.

А.4.2.1.3 Пригодность измерительных приемников

Для того, чтобы определить, пригоден ли прибор (анализатор спектра или измерительный приемник) к эксплуатации, необходимо определить, полностью ли он соответствует требованиям CISPR 16-1. Для понимания требований ниже изложены некоторые основные особенности.

Для измерения помех на зажимах электрических сетей приемник должен перекрывать полосу частот от 150 до 30 МГц. Приемник должен иметь квазипиковый детектор и детектор средних значений. Ширина полосы пропускания должна быть 9 кГц.

В некоторых приемниках также можно использовать полосу частот от 9 до 150 кГц. В этой полосе частот должен использоваться квазипиковый детектор, а ширина полосы пропускания должна быть 200 Гц.

Измерительный приемник для измерения излучаемых электромагнитных помех (излучений) должен охватывать полосу частот от 30 до 1000 МГц. При этом следует использовать ширину полосы пропускания 120 кГц и квазипиковый детектор.

А.4.2.2 Методы измерений

А.4.2.2.1 Наложение спектров

Должны быть созданы условия, при которых приемник остается настроенным на заданную частоту в течение времени, достаточного для установления выходного сигнала детектора. Если испытательный приемник (или анализатор спектра) сканирует слишком быстро, то выходной сигнал детектора должным образом не устанавливается и происходит явление, называемое наложением спектров, которое приводит к получению неправильных показаний. Это требование особенно важно при испытаниях силовой электроники, включая СЭП, из-за низкой частоты следования импульсов (от 50/60 Гц до нескольких килогерц). Если на экране отображаются пики или провалы формы сигнала, это указывает на наложение спектров, и время развертки должно быть увеличено.

В анализаторах спектра, которые часто используются для оценки высокочастотных помех, местный гетеродин перестраивается в полосе частот. Не следует путать их с анализаторами спектра, которые используют быстрое преобразование Фурье сигналов во временной области.

На тех частотах, где показания прибора близки к нормам, измерения следует проводить без сканирования приемника по частоте. Тем самым будет устранена проблема неточности измерений, связанная с наложением спектров на этих частотах.

А.4.2.2.2 Пиковый, квазипиковый детекторы и детектор средних значений

Пиковый, квазипиковый детекторы и детектор средних значений будут давать одинаковые показатели при наличии непрерывного синусоидального сигнала и при условии, что полоса пропускания приемника одна и та же. При наличии импульсного сигнала, такого как ШИМ (широтно-импульсная модуляция), наибольшее показание даст пиковый детектор, а наименьшее — детектор средних значений. Разница между показаниями различных детекторов наиболее велика, когда частота повторения импульсов значительно ниже ширины полосы пропускания приемника.

А.4.2.2.3 Внешний шум

Требования, касающиеся ограничения внешнего шума, установлены в 6.1 CISPR 11 (2003).

Необходимо принять соответствующие меры, чтобы внешний шум не вызывал ошибочных показаний. При контроле уровня внешнего шума в подключаемой сети электроснабжения следует отметить, что открытый входной контактор или переключатель будет обеспечивать затухание, которое отсутствует в процессе работы СЭП.

А.4.2.2.4 Расположение СЭП во время испытаний

При испытаниях должны быть имитированы реальные рабочие условия. Следовательно, оборудование должно функционировать, как при использовании по назначению. Например, крышки и заслонки, закрытые во время работы в обычных условиях, должны быть закрыты и во время испытаний. Некоторые другие требования также установлены в настоящем стандарте.

А.4.2.2.5 Измерение излучаемых помех

Подробные сведения об антеннах и измерительных площадках приведены в 5.5 и 5.6 CISPR 16-1 (2002).

Для стандартизации условий измерения излучаемых радиопомех применяют специальную открытую измерительную площадку. Для создания соответствующей устойчивой отражательной способности на площадке устанавливают металлическую пластину заземления с достаточной проводимостью.

Испытуемое оборудование устанавливают на поворотный стол, позволяющий измерять излучаемые помехи в различных направлениях.

Для обеспечения того, что измерения находятся в поле дальней зоны при самой низкой частоте (30 МГц), антенну устанавливают на расстоянии 10 или 30 м от испытуемого оборудования.

Для того чтобы обнаружить максимальное излучение на любой заданной частоте, антенну перемещают как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости.

А.4.2.2.6 Испытания на месте эксплуатации

Если оборудование не может быть испытано на измерительной площадке, испытания проводят на месте эксплуатации. В таком случае должны быть приняты дополнительные меры, чтобы избежать проблем, связанных с внешним шумом.

Испытания на месте эксплуатации не являются воспроизводимыми в той же степени, что и испытания на измерительной площадке. Поэтому необходимо тщательно рассматривать результаты испытаний на месте эксплуатации, чтобы обеспечить соответствие продукции, производимой большими партиями.

Один из подходов, применяемых в США, заключается в том, что если испытания не были проведены на измерительной площадке, то их следует провести на месте эксплуатации в первых трех местах размещения оборудования. Если подтверждается соответствие оборудования установленным нормам во всех трех местах размещения, то считают, что в общем случае оборудование также будет соответствовать установленным нормам.

А.4.3 Принятая практика в отношении СЭП большой мощности

Опыт различных стран на протяжении нескольких десятилетий показал, что установленные законодательные процедуры и процедуры защиты служб радиосвязи от высокочастотных помех оказались достаточно успешными на практике. Например, ниже описывается процедура, которая применялась в Германии в течение многих лет.

В соответствии с этой процедурой оборудование большой мощности, предназначенное для использования во второй электромагнитной обстановке, не подлежит испытаниям на измерительной площадке, так как оно является частью установки (см. [4]). Такие же правила применяются к оборудованию, которое устанавливается самим пользователем под его ответственность (см. [5]). Нормы излучаемых помех для таких установок большой мощности относят к действительным границам территории установки, в том числе в отношении измерительного оборудования и аппаратуры управления, которые предназначены для установки на этой территории. Нормы излучаемых помех устанавливают с учетом границ установки (точкой измерений для напряжений кондуктивных помех является вторичная обмотка низкого напряжения следующего применяемого трансформатора среднего напряжения, и для измерения излучений устанавливалось расстояние 30 м от границы установки) (см. [4] и [5]).

Результатом стало то, что процедуры, установленные в 6.5 настоящего стандарта, следуют этой принятой практике. Использование СЭП категории С4 в соответствии с этой процедурой требует компетентности в вопросах обеспечения ЭМС. Такая компетентность должна быть применена к конструированию аппаратов, либо изготовителю и пользователю следует определить наилучшие экономически обоснованные уровни ЭМС в конкретной электромагнитной обстановке.

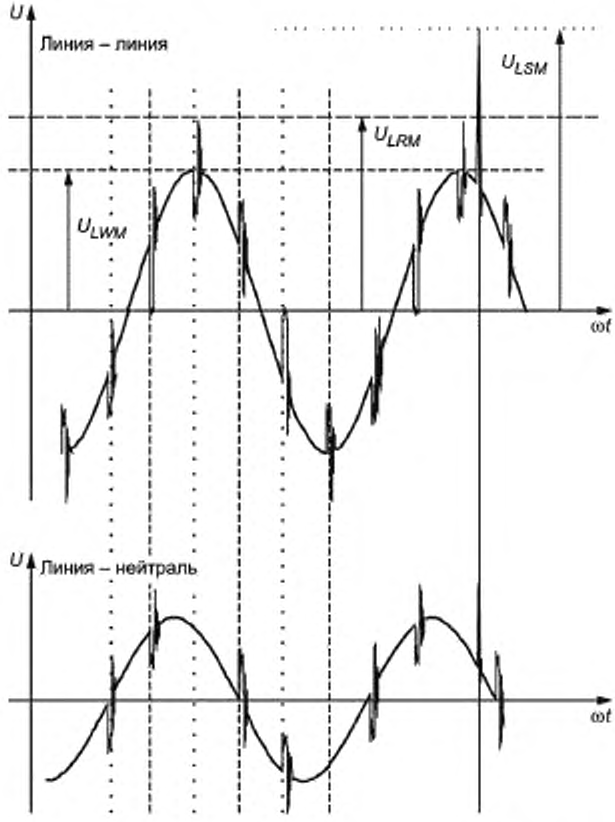
Приложение В
(справочное)

Низкочастотные электромагнитные помехи

В.1 Коммутационные провалы

В.1.1 Описание случаев

Коммутационные провалы вызываются короткими замыканиями «линия — линия» на зажимах тиристорного преобразователя. Они возникают, когда происходит коммутация тока от одной фазы электропитания к следующей. Коммутационные провалы представляют собой отклонения напряжения сети переменного тока от мгновенного значения основной составляющей. Коммутационные провалы наблюдаются в точках систем электроснабжения, их значение зависит от соотношения полных сопротивлений источника электропитания и развязывающей реактивности в тиристорном преобразователе.



Примечание — Типовые значения величин приведены в качестве рекомендаций.

Рисунок предполагает наличие полного сопротивления между зажимами СЭП и преобразователем.

Повторяющиеся переходные процессы характеризуются отношением U_{LRM}/U_{LWM}, равным от 1,25 до 1,50 в зависимости от конструкции демпфирующего устройства, с учетом di/dt и I_{RR} (динамический обратный ток полупроводника).

Неповторяющиеся переходные процессы характеризуются отношением U_{LRM}/U_{LWM}, равным от 1,8 до 2,5 в зависимости от дополнительных защитных устройств.

Рисунок В.1 — Типовая форма волны коммутационных провалов. Отличие от неповторяющихся переходных процессов

Анализ коммутационных провалов требует учета более широкой полосы частот, чем обычный гармонический анализ. Характеристики коммутационных провалов во временной области вызывают эффекты, которые не могут быть учтены при простом гармоническом анализе. Поэтому провалы анализируют во временной области с использованием осциллографа.

Следует помнить, что:

- в простых случаях, при которых применяется это правило, допускается, что полное сопротивление электрической сети может моделироваться чистым реактивным сопротивлением: $Z = L\omega$ (это допущение недействительно при наличии конденсаторов или длинных кабелей, так как в этих случаях могут происходить резонансы);

- устойчивость к коммутационным провалам классифицирована в 2.5.4.1 IEC 60146-1-1 (1991), где они измеряются по глубине (в % U_{LWM}) и по площади (глубине, умноженной на ширину α, в процентах градусы). U_{LWM} определяется в IEC 60146-1-1 как максимальное мгновенное значение (амплитуда) U_L, исключая переходные процессы, U_L представляет собой напряжение «линия — линия» на линейной стороне преобразователя или трансформатора, при наличии.

Если преобразователь не содержит какой-либо индуктивности, глубина d основного провала напряжения «линия — линия» на зажимах самого преобразователя (но не на зажимах ОМП/ПМП) равна

$$d = 100 \sin \alpha, \%,$$

где α — угол зажигания преобразователя с фазовым управлением (соответствует естественной точке коммутации диода);

- в принципе провал характеризуется значением напряжения «линия — линия» на зажимах преобразователя, равным 0 В;

- аппроксимация дает недооценку d для $\alpha < 90°$ и переоценку d для $\alpha > 90°$.

Площадь коммутационного провала, % градусы, может быть аппроксимирована с помощью простого соотношения (например, для трехфазной мостовой схемы условия аппроксимации см. в примечании ниже):

$$a = 8000 (Z_t \times I_{1L}/U_L), \% \text{ градусы},$$

где Z_t — общее линейное полное сопротивление в каждой фазе (принимаемое здесь как чистое реактивное сопротивление), включая любое полное сопротивление в ПМП;

I_{1L} — основная составляющая точка на стороне линии;

U_L — напряжение «линия — линия».

Очевидно, что наихудший случай имеет место, когда СЭП в текущий момент времени находится в условиях ограничения тока.

Примечание — При коммутационном угле u от α до $(\alpha + u)$ коммутационное напряжение равно:

$$\sqrt{2}U_L \sin\omega t,$$

$$\sqrt{2}U_L \sin\omega t = 2L_t dI/dt;$$

площадь коммутационного провала равна:

$$A = \int_{\alpha}^{\alpha+u} U(\theta)d\theta = 2L_t \int_{\alpha}^{\alpha+u} \frac{dI}{dt}\frac{dt}{d\theta} d\theta \text{ (вольт} \times \text{радианы)};$$

$$A = 2L_t\omega I_a, \text{ а значит, } A = 2Z_t I_a,$$

где I_a — коммутационный ток.

Допускаем, что $I_a = 0{,}75I_d$, и учитываем колебание постоянного тока I_d в трехфазной мостовой схеме

$$A = 1{,}5 Z_t I_d$$

и с a (% градусы)

$$a = 100A(360/2\pi)(1/\sqrt{2}U_L) = 8077(Z_t I_d / U_L);$$

$$a = 7794(Z_t I_{1L}/U_L);$$

$$a \approx 8000(Z_t I_{1L}/U_L) \text{ или (в установленных единицах величин) } a \approx 4500(z_t i_L).$$

В.1.2 Вычисление

В.1.2.1 Общая оценка

При действительных предположениях, указанных выше, глубина провала в точке подключения ТП, %, равна:

$$d_{PC} \% = 100 \sin \alpha (Z_c/(Z_c - Z_d)) = 100 \sin \alpha (Z_c/Z_t),$$

где Z_t — общее линейное сопротивление

$$Z_t = Z_c + Z_d,$$

где Z_d — развязывающее реактивное сопротивление между точкой подключения и зажимами преобразователя (если они входят или не входят в ПМП);

Z_c — полное сопротивление питающей электрической сети в точке подключения.

Возможности управления амплитудой преобразователя (например, в случае трехфазного мостового преобразователя) часто выражаются значением sin α. Глубина провала варьируется от 100 % на зажимах преобразователя до 0 % на нулевом полном сопротивлении источника.

Добавление развязывающего реактивного сопротивления Z_d между ТП и ОМП снижает глубину провала и повышает ширину в ТП, так что площадь провала *a* остается постоянной:

$$a_{PC} = 8000\,(Z_c \times I_{1L}/U_L)\,(\%\ \text{градусы}).$$

В простых случаях, где применяются вышеупомянутые допущения, эти уравнения могут использоваться для определения необходимого развязывающего реактивного сопротивления. Учитывая предельную глубину провала (см. таблицу В.1) и возможности управления амплитудой преобразователя, глубина провала в ТП равна:

$$Z_c/(Z_c + Z_d).$$

Значение Z_c, определяемое пользователем, позволяет монтажнику вычислить значение Z_d, из которого внутреннее развязывающее реактивное сопротивление, при наличии (указывается изготовителем), может быть вычтено. Оставшееся значение и является значением реактивного сопротивления, которое нужно применить для правильной развязки.

Примечание — В вышеприведенных расчетах не учитываются короткие одиночные импульсы в начале и в конце провала.

В.1.2.2 Практические правила

Приведенный выше расчет устанавливает практическое правило для снижения электромагнитной эмиссии с помощью применения реактивного сопротивления Z_d. Основные соотношения в предположении, что полное сопротивление электрической сети является чисто реактивным, будут следующими:

$$Z_c = L_c \times \omega;$$
$$Z_t = Z_c + Z_d;$$
$$d_{PC}\,\% = 100 \sin \alpha\,(Z_c/Z_t);$$
$$a_{PC}\,\%\ \text{градусы} = 8000\,(Z_c \times I_{1L}/U_L).$$

Для нескольких преобразователей, подсоединенных к одной и той же линии, должны выполняться положения 3.5 IEC 60146-1-2.

Следует учитывать, что соответствие критерию эмиссии коммутационных провалов не означает автоматического обеспечения соответствия критерию эмиссии гармонических составляющих. Аналогично соответствие критерию эмиссии гармоник автоматически не обеспечивает соответствия критерию эмиссии коммутационных провалов.

Аспект устойчивости к электромагнитным помехам не охватывается полностью критерием эмиссии гармонических искажений. В действительности, так как критерий эмиссии гармоник не подразумевает установления каких-либо фазовых соотношений между различными гармониками, он не исключает наличия частной формы напряжения на зажимах СЭП. Так как частная форма напряжения коммутационных провалов (dv/dt, возможное прохождение через ноль) влияет на работу демпфирующих устройств или может повлиять также на электронное управление, конкретный критерий устойчивости к электромагнитным помехам установлен в IEC 61800-1 (1997) и IEC 61800-2 (1998) и определен также в 4.1.1 этих стандартов в качестве электрических рабочих условий.

В.1.3 Рекомендации в отношении коммутационных провалов

В.1.3.1 Электромагнитная эмиссия

Нижеизложенные рекомендации к силовым преобразователям, конструкция которых такова, что коммутационные провалы заведомо исключены или имеют пренебрежимо малую амплитуду, не применяют.

Примечание 1 — Например, непрямые преобразователи источников напряжения инвертерного типа с активными фронтами и окончаниями импульсов, оборудованные развязывающим фильтром, сконструированные для ослабления эффектов частоты переключений, не создают провалов. Простые диодные выпрямители создают провалы пренебрежимо малой амплитуды. Практически рассматривать эмиссию коммутационных провалов следует в случае применения тиристорных преобразователей с линейной коммутацией.

Соответствие рекомендациям, касающимся коммутационных провалов, не исключает необходимости проверки соответствия требованиям, относящимся к гармоникам. Глубину основных провалов в точках подключения (ТОП или ТВП) следует ограничивать в соответствии с таблицей В.1 с предположением, что полное сопротивление электрической сети является чисто реактивным:

$$Z = L\omega$$

со значением, равным 1,5 % (по отношению к номинальной мощности СЭП).

Примечание 2 — При монтаже СЭП полное сопротивление электрической сети практически определяют по значению мощности короткого замыкания Z_{sc} в ТП:

$$Z_{sc} = U_{LN}^2 / S_{sc}.$$

Таблица В.1 — Максимальная допустимая глубина коммутационных провалов в ТП

	Первая электромагнитная обстановка	Вторая электромагнитная обстановка
Максимальная глубина провала	20 % Класс С по IEC 60146-1-1 или соответствие с требованиями местного поставщика электрической энергии	40 % Класс В по IEC 60146-1-1 или по соглашению с пользователем

Примечание 3 — Эти правила неприменимы, если ожидаются резонансы из-за емкостей или больших длин кабелей.

Примечание 4 — Для некоторых особенных распределительных сетей может быть необходимо специальное рассмотрение (например, для внутренних распределительных сетей в госпиталях. В таких случаях условия должны быть установлены пользователем.

Соответствие может быть определено расчетами, имитацией или измерениями.

Если СЭП не соответствует рекомендациям, то для предоставления пользователю возможности обеспечить соответствие рекомендациям изготовитель должен указать в эксплуатационных документах следующие сведения:

- максимальное и минимальное значения полного сопротивления электрической сети для нормального функционирования ПМП/ОМП;
- детальные характеристики развязывающей реактивности Z_d (при наличии), включенной в ПМП/ОМП;
- детальные характеристики развязывающей реактивности Z_d, которая может быть поставлена дополнительно.

Примечание 5 — Минимальное полное сопротивление непосредственно связано с максимальной площадью коммутационных провалов в ТП (см. В.1.1).

Вместе с тем при параллельном подключении нескольких СЭП к одной и той же ТП для ограничения коммутационных провалов необходим системный подход и простые правила неприменимы.

Примечание 6 — Практически рассматривать устойчивость другого оборудования при воздействии коммутационных провалов СЭП следует в случае применения помехоподавляющих радиочастотных фильтров.

В.1.3.2 Устойчивость к электромагнитным помехам

Вредное воздействие коммутационных провалов на СЭП может быть намного большим, чем то, которое будет определено при проведении анализа в частотной области для определения их вклада в коэффициент полных гармонических искажений. Поэтому необходим анализ коммутационных провалов во временной области. Необходимо отметить, что воздействия гармонических составляющих и коммутационных провалов влияют на работу электронных устройств управления, а также на работу некоторых силовых, например демпфирующих, устройств. Так как нарушения функционирования электронных систем управления возникают немедленно, а демпфирующие устройства обладают малой тепловой постоянной времени, то длительность испытаний на устойчивость к воздействию коммутационных провалов в установившихся условиях, при их проведении, не должна превышать 1 ч.

Ниже представлены некоторые практические случаи, когда следует рассматривать устойчивость к коммутационным провалам:

- при немедленном нарушении функционирования в результате воздействия, например при воздействии на электронные синхронизирующие схемы, определяющие момент перехода напряжения через нуль;
- при термических перегрузках, например перегрузках демпфирующих устройств в силовых преобразователях;
- при перенапряжениях в L-C-схемах, например в радиочастотных помехоподавляющих фильтрах.

В.2 Определения, относящиеся к гармоникам и интергармоникам

В.2.1 Общее обсуждение

В.2.1.1 Анализ несинусоидальных напряжений и токов

Классический анализ с применением ряда Фурье (IEV 101-13-08) позволяет представить любую несинусоидальную, но периодическую величину в виде совокупности синусоидальных составляющих, частоты которых образуют ряд частот, а также составляющей постоянного тока. Наименьшая частота в ряду частот называется основной частотой (IEV 101-14-49). Другие частоты в ряду частот являются целыми кратными основной частоте и называются «гармоническими частотами». Соответствующие им составляющие называются основной и гармоническими составляющими соответственно.

Преобразование Фурье (IEV 101-13-09) может быть применено к любой функции, периодической или непериодической. Результат преобразования представляет собой спектр в частотной области, который в случае непериодической функции времени является непрерывным и не содержит основной составляющей. Частным случаем применения преобразования Фурье к периодической функции является линейный спектр в частотной области, в котором спектральные линии представляют собой основную и гармонические составляющие, соответствующие составляющим ряда Фурье.

Примечание 1 — При анализе напряжения в системе электропитания составляющая основной частоты имеет наибольшую амплитуду, хотя не обязательно является первой линией в спектре, полученном с применением быстрого преобразования Фурье к функции времени.

Примечание 2 — При анализе тока составляющая основной частоты не обязательно имеет наибольшую амплитуду.

B.2.1.2 Электромагнитные явления, изменяющиеся во времени

На напряжения и токи в типовой системе электроснабжения непрерывно воздействуют переключения и изменения линейных и нелинейных нагрузок. Однако для целей анализа напряжения и токи считают стационарными в пределах измерительного окна, длительность которого (приблизительно 200 мс) является целым кратным периоду напряжения электропитания. Гармонические анализаторы конструируют так, чтобы достичь наилучшего компромисса, который эта технология может обеспечить (см. IEC 61000-4-7 (2002)).

B.2.2 Термины и определения, связанные с электромагнитными явлениями

B.2.2.1 **основная частота** (fundamental frequency): Частота в спектре, полученном преобразованием Фурье функции времени, которой кратны все частоты спектра. Для целей настоящего стандарта это та же частота, что и частота электропитания преобразователя, или частота, генерируемая преобразователем, с учетом конкретного рассматриваемого случая.

[IEV 101-14-50, измененный]

Примечание 1 — В IEV 551-20-01 и IEV 551-20-02 составляющие определены как результат анализа Фурье, при этом частоты составляющих являются следствием. В настоящем разделе применены определения терминов, основанные на подходе подкомитета 77A, в соответствии с которым вначале устанавливают определения частот, а составляющие являются следствием. Противоречия между данными двумя подходами отсутствуют.

Примечание 2 — В случае периодической функции основная частота всегда равна частоте самой функции (см. IEV 551-20-03 и IEV 551-20-01). Это определение соответствует истинному определению термина «опорная основная частота» в соответствии с IEV 551-20-04 и IEV 551-20-02, в котором термин «опорный» может быть исключен, если имеется риск неопределенности.

Примечание 3 — В случае любого остающегося риска неопределенности частота электроснабжения должна быть сопоставлена с полярностью и скоростью вращения синхронного генератора (генераторов), питающего систему.

Примечание 4 — Данное определение может быть применено к любой промышленной питающей электрической сети, без учета подключенных нагрузок (одиночной нагрузки или комбинации нагрузок, вращающихся машин или иных нагрузок) и даже если генератор, питающий сеть, представляет собой статический преобразователь.

B.2.2.2 **основная составляющая** [fundamental component (or fundamental)]: Составляющая, частота которой представляет собой основную частоту

B.2.2.3 **частота гармоники** (harmonic frequency): Частота, кратная основной частоте. Отношение этой частоты к основной частоте называется порядком гармоники (рекомендуемое обозначение — «h»).

См. IEV 551-20-07, IEV 551-20-05 и IEV 551-20-09

B.2.2.4 **гармоническая составляющая** (harmonic component): Любая составляющая на частоте гармоники. Уровень гармоники обычно выражают в среднеквадратических значениях.

Примечание — Для краткости гармонические составляющие называют гармониками.

B.2.2.5 **частота интергармоники** (interharmonic frequency): Любая частота, не кратная основной частоте.

См. IEV 551-20-07, IEV 551-20-05 и IEV 551-20-09

Примечание 1 — Применяя расширительное толкование термина «порядок гармоники», под порядком интергармоники понимают отношение частоты интергармоники к основной частоте. Это отношение не является целым числом (рекомендуемое обозначение — «*m*»).

Примечание 2 — Если $m < 1$, допускается применение термина «субгармоника» (см. IEV 551-20-10).

B.2.2.6 **интергармоническая составляющая** (interharmonic component): Составляющая на частоте интергармоники. Уровень интергармоники обычно выражают в среднеквадратических значениях.

Примечание 1 — Для краткости интергармонические составляющие называют интергармониками.

Примечание 2 — Для целей настоящего стандарта и в соответствии с требованиями IEC 61000-4-7 длительность измерительного окна равна 10 периодам основной частоты (для систем 50 Гц) и 12 периодам основной частоты (для систем 60 Гц), т. е. приблизительно 200 мс. Следовательно, разность частот двух последовательных интергармонических составляющих равна приблизительно 5 Гц. В случае иной основной частоты длительность измерительного окна следует выбирать между шестью периодами основной частоты (приблизительно 1000 мс для 6 Гц) и 18 периодами основной частоты (приблизительно 100 мс для 180 Гц).

B.2.2.7 **содержание гармонических составляющих** (harmonic content): Сумма гармонических составляющих периодической величины.

[IEV 551-20-12]

Примечание 1 — Содержание гармонических составляющих представляет собой функцию времени.

Примечание 2 — Для практического анализа может быть необходима аппроксимация периодичности.

Примечание 3 — Содержание гармонических составляющих зависит от выбора основной составляющей. Если из контекста не ясно, какую из них использовать, то следует привести указание.

Примечание 4 — Среднеквадратическое значение содержания гармонических составляющих HC равно

$$HC = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} (Q_h)^2},$$

где Q — ток или напряжение;

h — порядок гармоники (в соответствии с B.2.2.3);

H = 40 для целей настоящего стандарта.

B.2.2.8 **суммарный коэффициент гармонических составляющих** [total harmonic distortion (*THD*)]: Отношение среднеквадратического значения содержания гармонических составляющих к среднеквадратическому значению основной составляющей или опорной основной составляющей переменной величины.

[IEV 551-20-13]

Примечание 1 — Содержание гармонических составляющих зависит от выбора основной составляющей. Если из контекста не ясно, какую из них использовать, то следует привести указание.

Примечание 2 — Суммарный коэффициент гармонических составляющих может быть ограничен определенным порядком гармоники (рекомендуемое обозначение «*H*»). Для целей настоящего стандарта *H* = 40.

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

где, в дополнение к примечанию B.2.2.7, Q — среднеквадратическое значение гармонической составляющей.

B.2.2.9 **суммарное содержание искажений** (total distortion content): Величина, получаемая вычитанием из переменной величины основной составляющей или опорной основной составляющей.

[IEV 551-20-11]

Примечание 1 — Суммарное содержание искажений включает в себя гармонические и интергармонические составляющие, при наличии.

Примечание 2 — Суммарное содержание искажений зависит от выбора основной составляющей. Если из контекста не ясно, какую из них использовать, то следует привести указание.

Примечание 3 — Суммарное содержание искажений представляет собой функцию времени.

Примечание 4 — Переменная величина (обозначаемая Q) представляет собой переменную величину с нулевой составляющей постоянного тока.

Примечание 5 — Среднеквадратическое значение суммарного содержания искажений равно $DC = \sqrt{Q^2 - Q_1^2}$, где обозначения соответствуют введенным в B.2.2.7 и B.2.2.8. См. IEV 101-14-54 и IEV 551-20-06.

B.2.2.10 **суммарное отношение искажений** [total distortion ratio (*TDR*)]: Отношение среднеквадратического значения суммарного содержания искажений к среднеквадратическому значению основной составляющей или опорной основной составляющей переменной величины (см. IEV 551-20-14).

Примечание — Суммарное отношение искажений зависит от выбора основной составляющей. Если из контекста не ясно, какую из них использовать, то следует привести указание.

$$TDF = \frac{DC}{Q_1} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_1}.$$

B.2.2.11 **суммарный коэффициент искажений** [total distortion factor (*TDF*)]: Отношение среднеквадратического значения суммарного содержания искажений к среднеквадратическому значению переменной величины.

[IEV 101-14-55 и IEV 551-20-16]

Примечание 1 — Суммарный коэффициент искажений зависит от выбора основной составляющей. Если из контекста не ясно, какую из них использовать, то следует привести указание.

$$TDF = \frac{DC}{Q} = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q}.$$

Примечание 2 — Отношение *TDF* к *TDR* равно отношению среднеквадратического значения основной составляющей к суммарному среднеквадратическому значению. Эта величина представляет собой коэффициент основной составляющей (см. IEV 161-02-22):

$$FF = \frac{TDF}{TDR} = \frac{Q_1}{Q} \le 1.$$

B.2.2.12 **индивидуальное отношение искажений** [individual distortion ratio (IDR)]: Отношение любой гармонической составляющей к основной составляющей.

$$IDR = \frac{Q_h}{Q_1}.$$

B.2.3 Условия применения

B.2.3.1 Опорные величины

Для целей настоящего стандарта и обеспечения ясности установленные нормы относят к соответствующим номинальным значениям.

Нормы для *THD* и *TDR* применяют к

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{Q_h}{Q_{N1}}\right)^2} \text{ и } TDR = \frac{\sqrt{Q^2 - Q_1^2}}{Q_{N1}} \text{ или } IDR = \frac{Q_h}{Q_{N1}},$$

где Q_{N1} — номинальное среднеквадратическое значение основной составляющей.

Примечание 1 — Важно отметить, что суммарный коэффициент гармонических составляющих *THD* не включает в себя интергармонические составляющие, и предельный порядок гармоники равен 40. Суммарное отношение искажений *TDR* включает в себя интергармонические составляющие, а также полосу частот от гармонической составляющей 40-го порядка до 9 кГц. Если интергармонические составляющие и создаваемые помехи на частотах выше частоты гармонической составляющей порядка 40 пренебрежимо малы, *THD* и *TDR* равны. Суммарный коэффициент искажений *TDF*, при применении которого искажения определяются суммарным среднеквадратическим значением напряжения или тока, используется редко, и для исключения возможных ошибок его применение не рекомендуется.

Оценку создаваемых электромагнитных помех следует проводить при рабочих условиях, обеспечивающих максимальное значение содержания гармонических составляющих потребляемого тока в соответствии с IEC 61000-3-12 при выполнении требований к номинальному значению. Вместе с тем интергармоники следует оценивать отдельно.

Примечание 2 — Содержание гармонических составляющих потребляемого тока *HCI* определено в IEC 61000-3-12 как полный гармонический ток *THC*, в котором интергармоники могут быть исключены, что представляет собой хорошее приближение к суммарному содержанию искажений потребляемого тока *DCI*

$$THC = HCI = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} (I_h)^2} \approx DCI = \left(\sqrt{I^2 - I_1^2}\right).$$

B.2.3.2 Системы и установки

СЭП, как правило, является компонентом более крупной системы, которая может быть такой же крупной, как полная технологическая линия в бумажной или металлургической промышленности. В настоящем стандарте для

исключения ошибок понятие «установка» используется исключительно для обозначения полной установки, которая соединена с ТОП (точкой общего присоединения) электрической сети общего пользования.

В.2.3.3 Условия нагрузки

Условия установившегося состояния системы представляют собой наихудший случай, учитывая, что общая длительность режима перегрузки (ускорение или иные режимы) не превышает 5 % за 24 ч работы и 1 % за семь дней работы. Если нагрузка системы определяется рабочим циклом, оценка эмиссии гармоник в течение периода наивысшей нагрузки должна проводиться в соответствии с методом измерений, установленным в IEC 61000-4-7.

Условия перегрузки не рассматривают при оценке низковольтных СЭП с номинальным потребляемым током менее 75 А (см. В.3.2.2).

В.2.3.4 Согласованная мощность

Согласованная мощность S_{ST} определяется эквивалентным опорным током I_{TN} (суммарное среднеквадратическое значение):

$$S_{ST} = U_N \times I_{TN} \times \sqrt{3},$$

где U_N — номинальное (или заявленное) линейное напряжение в ТОП;

I_{TN} — опорный ток.

Важно отметить, что значение I_{TN} близко к номинальному значению тока расцепления прерывателя главной цепи установки. S_{ST} представляет собой мощность, передаваемую в любой момент времени в установку электрической сетью. Можно предположить, что для каждой согласованной мощности существует приемлемая мощность короткого замыкания (уровень короткого замыкания) S_{SC}, определяемая в ТОП. Ответственность за ее определение следует возлагать на энергораспределяющую организацию.

Примечание — Значение S_{ST} связано с результатами соглашения между пользователем (владельцем установки) и поставщиком электрической энергии.

Если значение согласованной мощности применяют для определения силы тока, с которой сравнивают гармонические составляющие тока, чтобы выразить их относительно этого значения (в единицах величины), то опорный ток I_{TN1} считают равным I_{TN}.

В.2.3.5 Согласованная внутренняя мощность (расширение определения согласованной мощности)

Согласованная внутренняя мощность S_{ITA} для установки, определяемая в точке внутрипроизводственного присоединения (ТВП) «α», зависит от эквивалентного опорного тока I_{TNA} (суммарное среднеквадратическое значение) для части А установки, получающей питание от α

$$S_{ITA} = U_N \times I_{TNA} \times \sqrt{3},$$

где U_N — номинальное линейное напряжение в ТВП «α».

Следует отметить, что I_{TNA} представляет собой номинальный ток питающей секции части А установки. Значение I_{TNA} близко к номинальному значению тока расцепления прерывателя этой части А установки. Можно предположить, что для каждой согласованной внутренней мощности существует приемлемая мощность короткого замыкания (уровень короткого замыкания) $S_{SC\alpha}$, определяемая в ТВП «α». Ответственность за ее определение возлагают на руководство внутренним распределением электронергии.

В.2.3.6 Отношение тока короткого замыкания источника в установке

R_{SI} представляет собой отношение тока короткого замыкания источника электропитания в определенной ТП к кажущейся номинальной мощности установки или части установки, получающей питание от этой ТП (см. рисунок В.2):

$$R_{SIA} = S_{SC\alpha}/S_{ITA} = I_{SC\alpha}/I_{TNA}.$$

Индекс «А» означает рассматриваемую часть установки, индекс «α» означает ТП, являющуюся исходной для этой части.

Примечание 1 — В 1.5.35 IEC 60146-1-1 (1991) и 3.69 IEC 62103 (2003) относительная мощность короткого замыкания R_{SC} определена как *«отношение мощности короткого замыкания источника к кажущейся мощности основной составляющей на линейной стороне преобразователя (преобразователей). Это определение относится к данной точке электрической сети, установленным рабочим условиям и конкретной конфигурации сети.»*. В настоящем стандарте применен такой же подход. Однако величина R_{SI} относится к номинальной кажущейся мощности суммарной нагрузки, подключенной к точке присоединения «вниз по потоку», а не к кажущейся мощности основной составляющей определенной нагрузки (преобразователя), подключенной к точке присоединения «вниз по потоку».

Примечание 2 — Данное определение может быть применено к различным установкам. В этом случае ТП представляет собой ТОП, и I_{TNA} соответствует согласованной мощности.

Примечание 3 — Данное определение может быть также применено к отдельной части установки с номинальным током I_{TNA}. Отношение тока короткого замыкания источника в установке R_{SIA} выражается как отношение тока короткого замыкания в ТВПα части установки к ее номинальному току.

Примечание 4 — Применяя расширенное толкование термина, данное определение может быть также применено к отдельной части оборудования с номинальным током I_{TNe}. $R_{SIδ}$ выражается как отношение тока короткого замыкания, существующего во внутренней рассматриваемой точке (обеспечиваемой источником) питаемой части оборудования. Данное расширенное толкование применимо только при рассмотрении внутренних составных частей оборудования.

Примечание 5 — Часть А установки с отношением тока короткого замыкания источника R_{SIA} представлена на рисунке В.2. Часть А включает в себя часть В с отношением тока короткого замыкания источника R_{SIB}, а также часть С и т. д. Часть В в свою очередь включает в себя часть В1, часть В2 и т. д. Такие разделения схем позволяют проводить анализ и оценку различных отношений тока короткого замыкания в различных возможных точках присоединения.

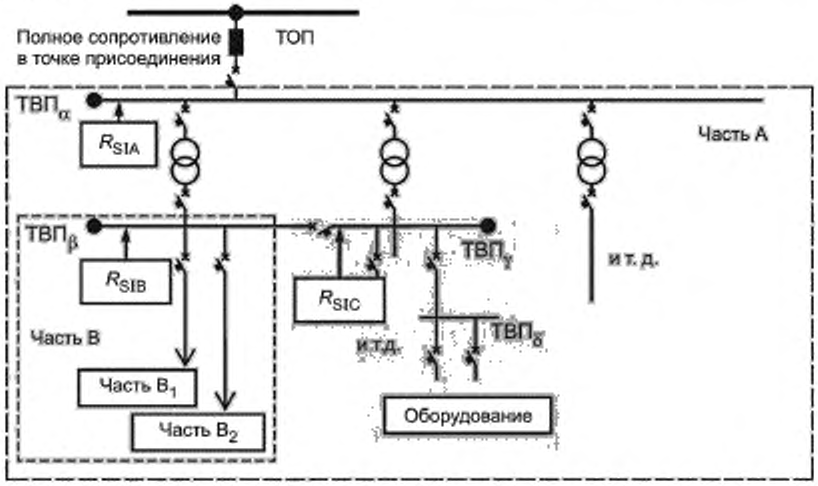


Рисунок В.2 — ТОП, ТВП, отношение тока установки и R_{SI}

В.2.3.7 Отношение короткого замыкания

R_{SC} представляет собой отношение мощности короткого замыкания в ТОП к номинальной кажущейся мощности оборудования (см. IEC 61000-3-4 и IEC 61000-3-12):

$$R_{SC} = S_{SC}/S_{Ne} = I_{SC}/I_{LNe}.$$

Примечание 1 — С учетом примера, приведенного на рисунке В.3, эта величина может быть выражена как функция от соответствующих значений R_{SI}. Представленная часть оборудования (e), получающая питание от шины ($ТВП_δ$) при токе короткого замыкания I_{SC} в ТОП и номинальном потребляемом токе I_{LNe}. Применение приведенных выше определений дает:

$$R_{SIe} = S_{SCδ}/S_{ITe} = I_{SCδ}/I_{LNe} = (I_{SCδ}/I_{SC}) \times (I_{SC}/I_{LNe}) = (S_{SCδ}/S_{SC}) \times (R_{SCe}) \text{ или } R_{SIe} = (S_{SC}/S_{SCδ}) \times R_{SIe}.$$

Это определение применимо при установлении условий присоединения части оборудования к низковольтной общественной распределительной сети с учетом требований IEC 61000-3-4 или IEC 61000-3-12.

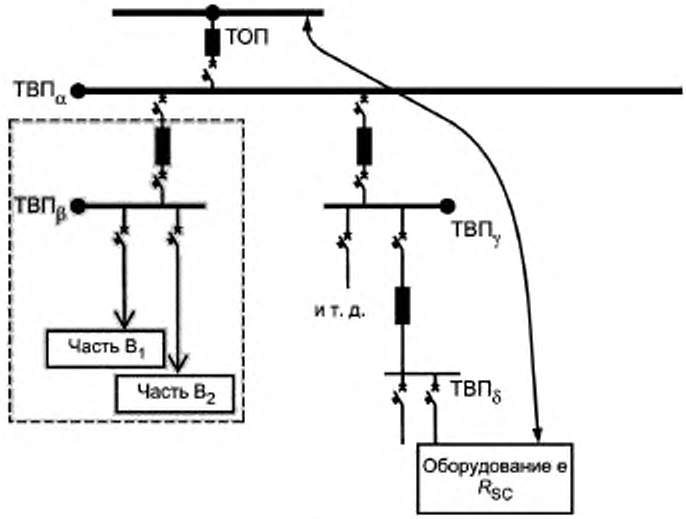


Рисунок В.3 — ТОП, ТВП, отношение тока установки и R_{SC}

Примечание 2 — Другое определение R_{SC} для выпрямителей, учитывающее постоянный ток, приведено в разделе А.2 IEC 61000-2-6.

В.2.3.8 СЭП, не создающие помех

На СЭП, соответствующие нормам IEC 61000-3-2 или нормам ступени 1 IEC 61000-3-4, может быть нанесена надпись «СЭП не искажает электромагнитную обстановку». Применение таких СЭП допускается без ограничений.

В.3 Применение стандартов эмиссии гармоник

В.3.1 Общие положения

В результате теоретического изучения силовых преобразователей и их применения преобразователи были моделированы как источники гармонических токов. Некоторые новые преобразователи, относящиеся к источникам напряжения (использующие ускоренную коммутацию и управление с использованием ШИМ), лучше рассматривать как источники гармонических напряжений, хотя они подключаются к ТП (которая также является источником напряжения), полное сопротивление (реактивность) которой преобразует их в источники тока.

Однако эта общепринятая модель неприменима, если внутреннее гармоническое полное сопротивление преобразователя является низким в сравнении с полным сопротивлением электрической сети. В качестве примера рассматривают случай диодного выпрямителя, в котором на сторонах переменного и постоянного тока отсутствуют какие-либо развязывающие реакторы. Гармонические напряжения будут определяться компонентами с низшим гармоническим полным сопротивлением.

При установлении модели источника гармонических токов необходимы минимальные знания системы. Модель источника гармонических токов часто пригодна для большинства преобразователей и для гармонических составляющих до 25-го порядка. Однако такую модель следует изменить для частот, расположенных выше частот гармонических составляющих 40-го порядка, где более удобной, как правило, является модель источника гармонических напряжений. В средней области гармонических составляющих порядка от 25 до 40 необходимы специальные меры определения приемлемой модели.

Для того чтобы определить порядок и амплитуду различных гармонических составляющих для различных видов преобразователей, были представлены различные модели. Обзор этих публикаций приведен в IEC 61000-2-6 (раздел А.1), IEC 61800-1 (приложение В) или в IEC 61800-2 (приложение В), в которые включена информация из IEC 60146-1-2.

В настоящем стандарте данный анализ не приводится.

СЭП часто является источником гармонических токов, которые вызывают гармонические напряжения. Гармонические напряжения должны сравниваться с уровнями электромагнитной совместимости, установленными в IEC 61000-2-2 или IEC 61000-2-4. Необходимо также учитывать влияние рабочих и монтажных условий, как установлено в IEC 61000-2-6, где также представлены методы суммирования гармоник. Методы снижения уровней помех рассмотрены в приложении С, практические правила подключения СЭП — в В.4.

С учетом промышленной практики, относящейся к СЭП класса С4, оптимальные решения определяют исходя из технической и экономической точек зрения. Они включают в себя упрощенные методы снижения помех, например, использование определенных трансформаторов со сдвигом фаз, применимых к различным СЭП.

Применение фильтров в каждой СЭП по отдельности может привести к опасному риску возникновения множественных резонансных частот. Кроме того, так как гармонические полные сопротивления, а также существующие искажения напряжения в основном неизвестны и нестабильны, то, в частности, трудно определить номинальные характеристики фильтра. Поэтому следует применять общий подход к фильтрованию установки в целом. Такой подход см. в IEEE 519.

В.3.2 Электрические сети общего пользования

В.3.2.1 Общие условия

Для низковольтных СЭП с номинальным током свыше 16 А, но не более 75 А в одной фазе, в IEC 61000-3-12 установлены ограничения гармонических токов, инжектируемых в общественные распределительные системы. Нормы, установленные в IEC 61000-3-12, применимы прежде всего к электрическому и электронному оборудованию, предназначенному для подключения к электрическим сетям общего пользования переменного тока.

Если СЭП представляет собой оборудование, относящееся к области применения по IEC 61000-3-12, применяют требования этого стандарта. Однако если одна или большее число СЭП входят в состав оборудования, относящегося к области применения IEC 61000-3-12, требования этого стандарта применяют к комплектному оборудованию, а не к отдельным СЭП.

Испытательная установка для непосредственных измерений или валидации процесса компьютерной имитации, применяемая для СЭП, относящихся к области применения IEC 61000-3-4 или IEC 61000-3-12, состоит из источника напряжения и измерительного оборудования, как установлено в IEC 61000-3-12. Если в качестве независимого источника электропитания для испытаний применяют синхронную машину, следует учитывать, что ее гармоническое полное сопротивление определяется полным сопротивлением отрицательной последовательности, а не током короткого замыкания.

Примечание 1 — Если СЭП включает в себя трансформатор с фазовым сдвигом, точку измерения выбирают на первичной обмотке.

Измерения проводят при установившихся условиях. Условия работы с превышением мощности (при воздействии на момент вращения при полной скорости) не рассматривают, так как они относятся к исключительным применениям, и если имеют место, то достаточно ограничены по времени.

Отсутствуют фундаментальные различия процесса эмиссии гармоник силовой электроникой преобразователей в зависимости от их режима работы, потребления энергии или регенерации энергии. Таким образом, четырехквадратные СЭП должны быть испытаны только в режиме двигателя.

Уровень электромагнитных помех может быть оценен прямыми измерениями либо имитацией при условиях, установленных в IEC 61000-3-12. Обзор методов приведен в алгоритмах на рисунках В.4 и В.5.

Установлены два вида рабочих условий, чтобы учесть различные виды СЭП:

- номинальный потребляемый ток при базовой скорости в режиме двигателя (для преобразователя — источника напряжения);
- номинальный момент вращения при 66 % базовой скорости в режиме двигателя (для тиристорного привода постоянного тока или преобразователя — источника тока).

Примечание 2 — В IEC 61800-1 и IEC 61800-2 базовая скорость определена как минимальная скорость, при которой двигатель способен создавать максимальную выходную мощность. В случае преобразователя — источника напряжения это часто та же скорость, которую двигатель развивает при прямом питании от электрической сети.

Для оборудования, не относящегося к области применения по IEC 61000-3-2 и IEC 61000-3-12 (например, при номинальном токе свыше 75 А), приведены рекомендации в IEC 61000-3-4 и В.4.

Примечание 3 — Гармонические составляющие, создаваемые различными электрическими компонентами оборудования, могут быть суммированы с использованием более точного аналитического представления физического закона, соответствующего конструктивным особенностям СЭП и конструктивным особенностям других компонентов (см. В.3.3).

В.3.2.2 Оценка путем имитации

Оценку эмиссии индивидуальных гармонических составляющих от СЭП методом имитации следует проводить, применяя основные правила суммирования, представленные на рисунке В.4. Начальной ступенью являются характеристики СЭП и источника напряжения.

В случае оборудования большой мощности или среднего напряжения проверка моделирования может быть более сложным процессом, чем способ, описанный в настоящем стандарте.

В.3.2.3 Условия нагрузки при оценке путем испытаний

В.3.2.3.1 Общие положения

Если гармонические составляющие, создаваемые СЭП, измеряют по отдельности, то применяют условия нагрузки, соответствующие виду преобразователя СЭП, которые обобщены на рисунке В.5, и подробные сведения приведены в В.3.2.3.1—В.3.2.4.

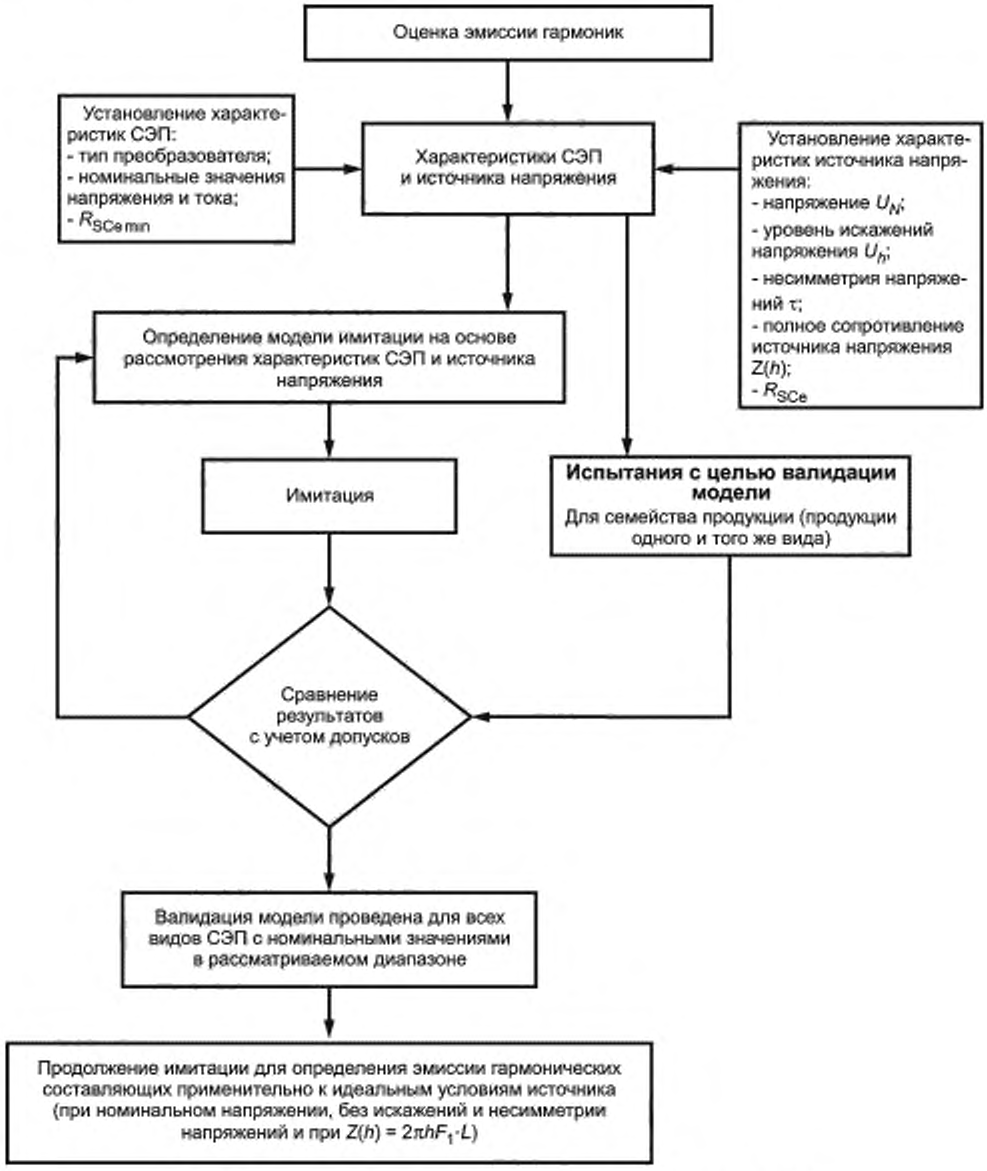


Рисунок В.4 — Оценка эмиссии гармонических составляющих от СЭП

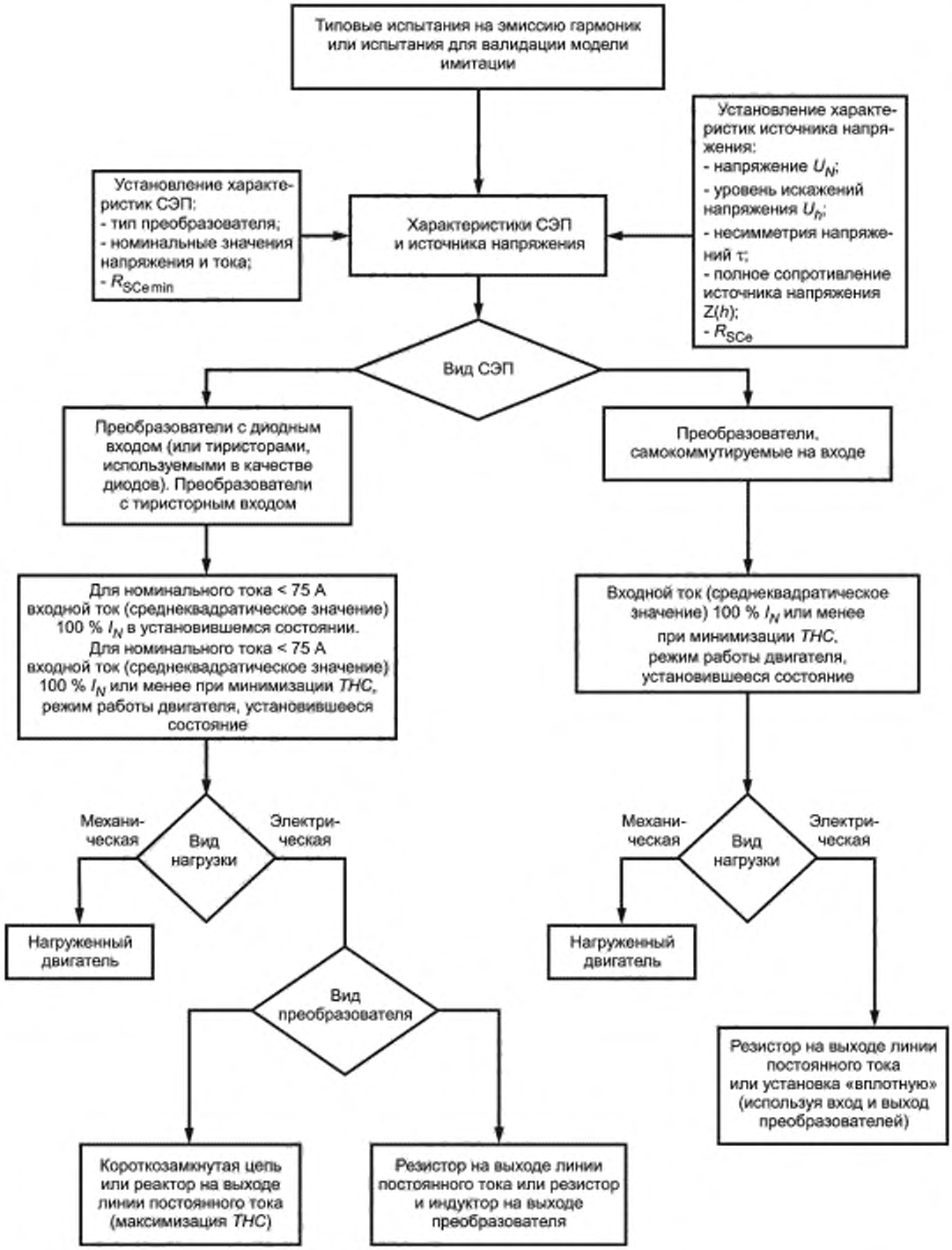


Рисунок В.5 — Условия нагрузки при измерении гармонических составляющих, создаваемых СЭП

На рисунке В.6 представлена испытательная установка с использованием механической нагрузки. Рисунки В.7 и В.8 иллюстрируют возможности применения электрических нагрузок при отсутствии механической нагрузки.

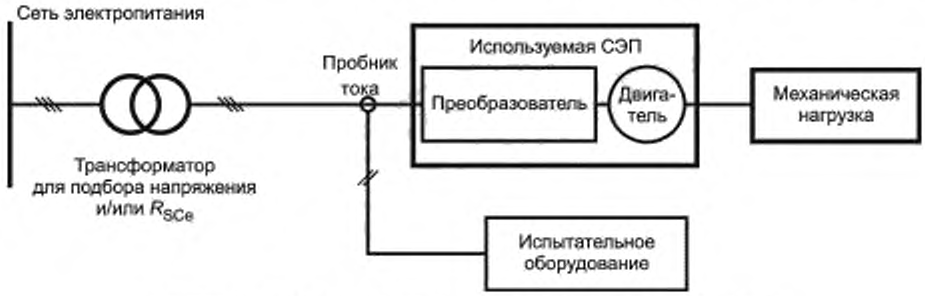


Рисунок В.6 — Испытательная установка с механической нагрузкой

В.3.2.3.2 Диодный выпрямитель на входе

СЭП с диодным выпрямителем на входе (или тиристорным выпрямителем, или тиристорами, используемыми в качестве диодов с функцией переключателя) могут быть испытаны при 100%-ном номинальном потребляемом токе (среднеквадратическое значение), установленном в технической документации изготовителя. Необходимая нагрузка для получения потребляемого тока может быть обеспечена двигателем, выбранным изготовителем, и механической нагрузкой для работы в установившемся режиме.

Нагруженный двигатель может быть заменен электрической нагрузкой, подключаемой к выходу преобразователя или к выходу линии постоянного тока, при следующих условиях:

- на выходе преобразователя электрическая нагрузка должна состоять из индуктивности и резистора (см. рисунок В.7);
- на выходе линии постоянного тока электрическая нагрузка должна состоять из резистора (см. рисунок В.8).

Для номинального потребляемого тока, равного или превышающего 75 А, условия номинального потребляемого тока могут быть заменены условиями, максимизирующими *THC*.

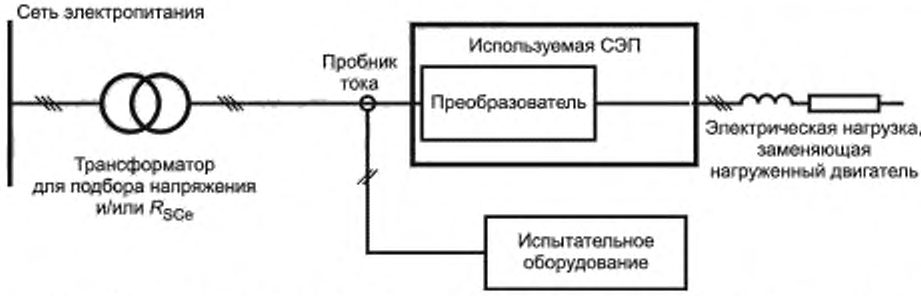


Рисунок В.7 — Испытательная установка с электрической нагрузкой, заменяющей нагруженный двигатель

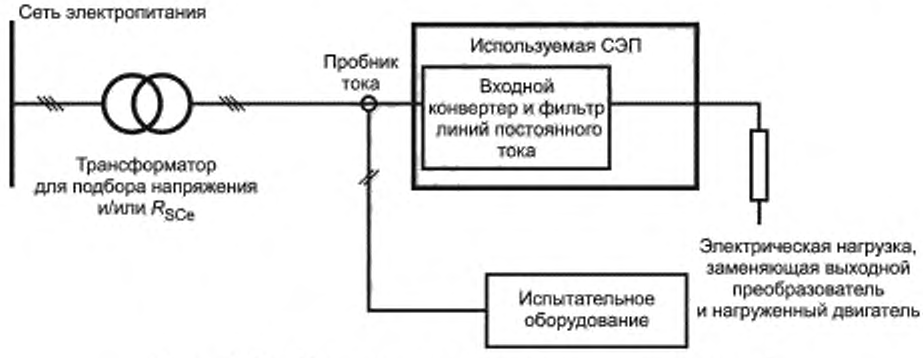


Рисунок В.8 — Испытательная установка с резистивной нагрузкой

B.3.2.3.3 Входной преобразователь с линейной коммутацией

СЭП с входным преобразователем с линейной коммутацией (тиристорным преобразователем) испытывают при номинальном среднеквадратическом значении потребляемого тока, установленном в технической документации изготовителя, или при меньшем значении, максимизирующем *THC*. В испытаниях в условиях регенерации нет необходимости. Необходимая нагрузка для получения соответствующего потребляемого тока может быть обеспечена двигателем, выбранным изготовителем, и механической нагрузкой для работы в установившемся режиме.

В случае преобразователя — источника тока нагруженный двигатель может быть заменен индуктором на выходе линии постоянного тока (заменяющим двигатель). В случае преобразователя — источника напряжения нагруженный двигатель может быть заменен резистором на выходе линии постоянного тока (см. рисунок B.8).

Примечание — Условия, обеспечивающие максимальное значение *THC*, близки к условиям, обеспечивающим максимальное значение пульсаций (между пиковыми значениями) в линии постоянного тока на выходе входного преобразователя.

B.3.2.3.4 Самокоммутируемый входной преобразователь

СЭП с самокоммутируемым входным преобразователем испытывают при номинальном среднеквадратическом значении потребляемого тока, установленном в технической документации изготовителя, или при меньшем значении, максимизирующем *THC*. В испытаниях в условиях регенерации нет необходимости. Необходимая нагрузка для получения соответствующего потребляемого тока может быть обеспечена двигателем, выбранным изготовителем, и механической нагрузкой для работы в установившемся режиме.

Нагруженный двигатель может быть заменен резистором на выходе линии постоянного тока. Также возможна взаимная нагрузка в качестве нагрузки; в этом случае измеряется только ток входного преобразователя. Установка параметров для задней загрузки также возможна; в таком случае очевидно, что только ток входного преобразователя измеряется.

B.3.2.4 Максимальное значение *THC*

Работа при номинальном потребляемом токе не всегда является необходимой для соответствия требованиям максимизации суммарного тока гармоник (*THC*) (в потребляемом токе).

Примечание — В настоящем стандарте *THC* представляет собой суммарное содержание гармонических составляющих (см. B.2.2.7), что совпадает с определением в IEV 551-20-12. В IEC 61000-3-12 *THC* обозначает суммарный гармонический ток, который можно рассматривать как суммарное содержание гармонических составляющих в токе.

Для определенных видов преобразователей (например, для преобразователей — источников тока) пульсации тока в линии постоянного тока зависят от скорости вращения двигателя. Наихудшие условия возникают при нулевой скорости, что эквивалентно замене нагруженного двигателя индуктором на выходе линии постоянного тока. Этот случай в основном не представляет нормальную работу СЭП.

Оценку гармонических токов, создаваемых различными видами СЭП с номинальным потребляемым током, равным или превышающим 75 А, проводят при следующих рабочих условиях:

- номинальный потребляемый ток при базовой скорости в режиме двигателя (для преобразователя — источника напряжения);
- номинальный ток двигателя при 66%-ной базовой скорости в режиме двигателя (для тиристорного привода постоянного тока или преобразователя — источника тока).

Для СЭП других видов, для которых неясно, при каком из вышеуказанных условий имеет место наихудший случай, следует проводить оценку при обоих указанных выше рабочих условиях. В каждом случае гармонические токи должны быть оценены в процентах от номинального значения основной составляющей потребляемого тока. Условия, при которых значение *THC* будет наивысшим, следует рассматривать как наихудший случай.

Если эти два условия не могут быть оценены (путем испытаний или проверенной имитации) или если необходимо оценить низковольтную СЭП с номинальным потребляемым током менее 75 А, то в качестве альтернативы предлагается проверить условия максимума *THC* с использованием следующего упрощенного метода. Ток СЭП устанавливают ниже номинального значения потребляемого тока так, чтобы абсолютное значение тока пульсаций в линии постоянного тока было максимальным. Выполнение этого требования проверяют анализом формы тока при изменении прокладки линии постоянного тока.

Условия, обеспечивающие репрезентативность определения максимального значения *THC*, могут также быть выполнены при проведении испытаний или валидации процесса имитации с электрической нагрузкой путем регулирования среднего значения тока в линии постоянного тока. Они могут быть приняты для определения условий нагрузки при испытаниях для проверки модели имитации.

Измерение индивидуального коэффициента искажений *IDR* (см. B.2.2.12) обеспечивает при этих условиях переоценку наиболее важных гармонических составляющих тока. Результаты этих измерений могут быть приняты в качестве результатов испытаний, если номинальное значение тока не достигается, а имитация не используется.

В.3.3 Методы суммирования гармонических составляющих в установке. Практические правила

В.3.3.1 Принципиальные положения

Гармонические составляющие от различных компонентов (частей оборудования) суммируются наиболее приемлемым способом. Выбранный метод суммирования может быть быстрым, но консервативным приближением. При необходимости повышенной точности может быть выбран приемлемый закон суммирования, учитывающий принцип действия и структуру преобразователей СЭП. Результаты сравнивают с номинальным значением основной составляющей тока аппарата или систем (кажущейся потребляемой мощностью).

В.3.3.2 Простое арифметическое суммирование гармонических токов

При этом подходе гармонические токи суммируются арифметически. Данный метод прост, но часто достаточно консервативен. Расчеты индивидуальных отношений искажений *IDR* (для каждого порядка) или суммарного коэффициента гармонических составляющих (*THD*) проводят для трехфазных компонентов с применением приведенного ниже уравнения, применимого для всех искажающих компонентов или части установки.

HD представляет собой общее обозначение для *IDR* или *THD*. Индекс eq отмечает, что данная величина относится к определенной части оборудования в системе. Индекс IT отмечает, что пример относится к части установки, однако применим к установке в целом (с использованием индекса ST):

$$HD = \sum_{eq} HD_{eq} \cdot \frac{S_{eq}}{S_{IT}}.$$

В этом уравнении HD_{eq} выражает номинальный основной ток компонента (части оборудования), а *HD* — номинальный основной ток части установки (при согласованной внутренней мощности).

Для однофазных компонентов принимают во внимание дополнительный коэффициент учета несимметрии:

- для однофазных нагрузок, фаза—фаза, коэффициент равен $\sqrt{3}$:

$$\sqrt{3}\left(HD_{eq} \cdot \frac{S_{eq}}{S_{IT}}\right);$$

- для однофазных нагрузок, фаза—нейтраль, коэффициент равен 3:

$$3\left(HD_{eq} \cdot \frac{S_{eq}}{S_{IT}}\right).$$

Дополнительный коэффициент учета несимметрии применяют к тем величинам, которые относятся к чрезмерным нагрузкам, создающим условия несимметрии.

Пример: SIT = 150 кВ·А.

Часть искажающего оборудования № 1: S_{eq} ***= 25 кВ·А с HD = 65 % относительно его номинального тока.***

HD_{eq1} ***= 65 (25/150) % = 10,8 % относительно*** I_{TN1} ***(или*** S_{IT}***).***

Часть искажающего оборудования № 2: S_{eq} ***= 10 кВ · А с HD = 10 % относительно его номинального тока.***

HD_{eq2} ***= 10 (10/150) % = 0,7 % относительно*** I_{TN1} ***(или*** S_{IT}***).***

Часть искажающего оборудования № 3: S_{eq} ***= 1 кВ · А с HD = 85 % относительно его номинального тока, но однофазного (фаза—фаза), в 1,73 раза превышающего номинальный ток при симметричной нагрузке, с гармониками, умноженными на 3.***

HD_{eq3} ***= 85 × (1,0/150) × 1,73 = 1,0 % относительно*** I_{TN1} ***(или*** S_{IT}***).***

Для системы HD = (10,8 + 0,7 + 1,0) % = 12,5 % с $\Sigma S_{eq}/S_{IT}$ ***= (25 + 10 + 1)/150 = 0,240***

Расчет следует проводить для гармоники каждого порядка и для THD.

В.3.3.3 Метод псевдоквадратического суммирования (переменный показатель степени)

Суммирование гармонических токов возможно с применением более репрезентативного закона:

- к токам, относительно которых известно, что они протекают в фазе (например, токи в диодном выпрямителе), применяют арифметическое суммирование каждого порядка:

$$I_h = \sum_i I_{hi};$$

- при случайном фазовом соотношении между токами применяют различные показатели степени при суммировании каждого порядка:

$$I_h = \left[\sum_i I_{hi}^{\alpha}\right]^{\frac{1}{\alpha}}$$

$\alpha = 1$ для $h < 5$, $\alpha = 1{,}4$ для $5 \le h < 10$ и $\alpha = 2$ для $10 \le h$.

С помощью вышеприведенных формул оценивают индивидуальные гармонические токи, а также *THD*.

Этот метод позволяет дать оценку гармонических токов, поступающих из системы. Результат суммирования рассматривают по отношению к номинальному основному току системы (согласованная внутренняя мощность) и может использоваться для демонстрации соответствия требованиям IEC 61000-3-2 или IEC 61000-3-12 (ступень 1 или 2) с учетом номинальных характеристик машины или системы. Результаты суммирования могут использоваться даже для оценки соответствия больших промышленных систем или установок.

В типичных случаях этот метод применяют к оборудованию для легкой промышленности с «согласованной мощностью» от 30 до 100 кВ · А или к установкам для легкой промышленности с «согласованной мощностью» от 100 до 300 кВ · А.

В.3.3.4 Подход для промышленных электрических сетей, основанный на расчетах и/или измерениях

Если соответствие нормам гармонических составляющих не может быть доказано с помощью использования вышеупомянутых приближенных методов, то необходимо применять более точную оценку эмиссии гармоник. Это касается суммарного тока, потребляемого установкой.

Суммарный гармонический ток, вырабатываемый установкой, включая нагрузку, должен быть определен расчетами или измерениями. При этом необходимо учитывать действительные фазовые соотношения между гармониками, создаваемыми нагрузками, чтобы эффекты взаимоисключения гармоник не были проигнорированы.

В типичных случаях этот подход применяют к оборудованию для легкой промышленности с «согласованной мощностью» свыше 100 кВ · А или к оборудованию для тяжелой промышленности.

В.4 Правила установки/оценка электромагнитной совместимости по гармоническим составляющим

В.4.1 Промышленные трехфазные системы малой мощности

Приведенные ниже сведения могут служить руководством для использования СЭП при их включении в состав аппаратов или, в более общем понимании, в системы. Применение норм гармонических составляющих к каждой СЭП может привести к неэкономичному решению и/или к техническому абсурду. Часто правильнее применить общий подход к фильтрованию установки в целом. Это требует суммирования гармонических токов, создаваемых внутри установки.

Процедура оценки эмиссии гармонических помех в целом представлена на рисунке В.9.

Как установлено в 6.2.3.1, требования IEC 61000-3-2 и в будущем IEC 61000-3-12 применяют к аппаратам, содержащим СЭП, которые непосредственно подключены к ТОП в общественных низковольтных распределительных электрических сетях. Подтверждение соответствия проводится путем сравнения уровней индивидуальных отношений искажений *IDR* (каждого порядка) и суммарного коэффициента гармонических составляющих (*THD*), создаваемых аппаратом или системой, с требованиями, установленными в таблицах соответствующего стандарта.

Для СЭП, которые не относятся к области применения этих стандартов, в качестве руководства может быть использована следующая процедура.

Для СЭП, которые не входят в область применения настоящего стандарта, можно руководствоваться нижеизложенным порядком. Обычный подход заключается в применении норм гармонических токов к установке в целом. Оценка суммарных гармонических помех проводится с использованием приемлемого закона суммирования в соответствии с требуемой степенью приближения (см. В.3.3). Применение упрощенного метода и критериев допускается, если согласованная мощность находится в пределах средних значений (например, между 100 и 300 кВ·А), как представлено на рисунке В.9. За соответствие СЭП нормам гармонических токов в ТОП ответственность несет пользователь

В.4.2 Большие промышленные системы

В.4.2.1 Принципиальные положения

Приведенные ниже сведения могут служить руководством для использования СЭП при их включении в состав аппаратов или, в более общем понимании, в системы. Применение норм гармонических составляющих к каждой СЭП может привести к неэкономному решению и/или к техническому абсурду. Часто правильнее применить общий подход к фильтрованию установки в целом. Это требует суммирования гармонических токов, создаваемых внутри установки.

Процедура оценки эмиссии гармонических помех в целом представлена на рисунке В.9.

Для установок, получающих питание от электрических сетей среднего напряжения, включающих большие СЭП, и особенно те, которые имеют номинальное напряжение свыше 1000 В переменного тока, следует непосредственно применять технический отчет IEC 61000-3-6.

Обычно установку разделяют на различные части в соответствии с наличием естественных развязывающих устройств (трансформаторов и т. д.). Разделение следует проводить на основе анализа полной электрической схемы, принимая во внимание возможность резонансов (см. рисунок В.2).

Места размещения необходимых фильтров должны быть тщательно установлены, но очевидно, что фильтрование каждой СЭП непрактично.

Обычный подход заключается в применении норм гармонических токов к установке в целом или к частям установки, как было указано выше. В критических случаях проводится более детальный анализ с учетом существующих уровней гармонических искажений напряжения.

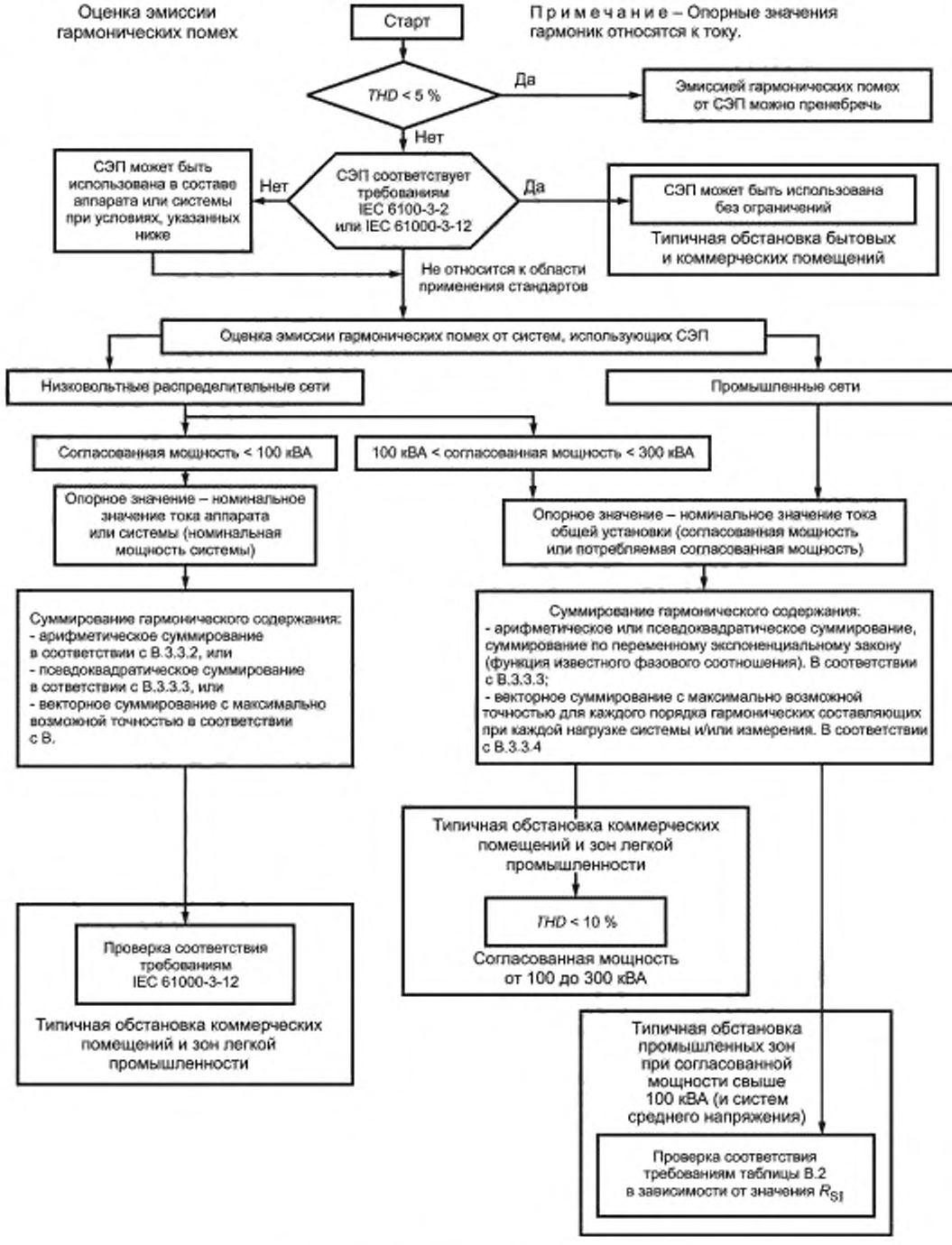


Рисунок В.9 — Оценка эмиссии гармонических помех при использовании СЭП (аппаратов, систем или установок)

B.4.2.2 Метод определения искажений тока для установки в целом

Нормы гармонических составляющих тока применяются к установке в целом. Нормы применяются для индивидуальных отношений искажений (*IDR*) для каждого порядка и для суммарного коэффициента гармонических составляющих (*THD*).

Гармонические составляющие тока, создаваемые установкой в целом, должны соответствовать установленным в таблице B.2 в определенной точке присоединения (см. определение R_{SI} в B.2.3.6). Поставщик и пользователь СЭП должны прийти к соглашению о точке присоединения (ТОП или ТВП) и о применении других норм электромагнитной эмиссии, установленных на национальном уровне. У ТП должен быть идентифицированный шинопровод.

Примечание — Учитывая определение R_{SI} и присоединение к определенному шинопроводу, очевидно, что все нагрузки, получающие питание от этого шинопровода, вносящие вклад в соответствующий ток I_{TN}, должны быть учтены при расчетах эмиссии гармонических составляющих.

В США согласно IEEE 519 такой подход используется для всех уровней напряжений в электрических распределительных сетях. Пример практических норм, прошедших проверку в США, приведен в таблице B.2.

Гармонические токи выражаются в процентах суммарного тока, соответствующего внутренней согласованной мощности системы электропитания переменного тока установки в целом *IDR*. В случае ТОП ток нагрузки определяется «согласованной мощностью», то есть мощностью, согласованной между пользователем и поставщиком электрической энергии. В случае ТВП номинальный ток основной составляющей нагрузки равен номинальному току нагрузки в фидере, подходящем к ТВП (см. B.2.3.5 и B.2.3.6).

Таблица B.2 — Требования эмиссии гармонических токов в процентах от суммарного тока в ТОП или ТВП при согласованной мощности

R_{SI}	Индивидуальное отношение искажений IDR					
	$h < 11$	$11 \le h < 17$	$17 \le h < 23$	$23 \le h < 35$	$35 \le h$	*TDR*
$R_{SI} < 20$	4 %	2 %	1,5 %	0,6 %	0,3 %	5 %
$20 \le R_{SI} < 50$	7 %	3,5 %	2,5 %	1 %	0,5 %	8 %
$50 \le R_{SI} < 100$	10 %	4,5 %	4 %	1,5 %	0,7 %	12 %
$100 \le R_{SI} < 1000$	12 %	5,5 %	5 %	2 %	1 %	15 %
$1000 \le R_{SI}$	15 %	7 %	6 %	2,5 %	1,4 %	20 %
Четные гармоники ограничиваются до значения, равного 25 % нечетных гармоник. Для систем с числом импульсов q свыше 6 нормы для каждой отдельной гармоники умножают на коэффициент $\sqrt{q/6}$. Для системы с 12 импульсами это соответствует увеличению в $\sqrt{2}$. Нормы *THD* остаются неизменными.						

B.4.2.3 Анализ в каждом конкретном случае

В качестве альтернативы может быть проведен полный анализ систем. Его необходимо проводить в критических случаях. Результаты анализа затем допускается применять для правильного определения общего фильтрования или других методов помехоподавления.

Необходимо провести следующие процедуры:

- оценить существующий уровень искажения гармонического напряжения в ТОП (ответственность оператора распределительной сети — общественной или частной);
- вычислить или измерить гармоническое полное сопротивление источника питания в точке присоединения (ответственность оператора распределительной сети, общественной или частной, в случае подключения к ТОП и ответственность пользователя в случае подключения к ТВП с точкой подключения внутри); В A.2 IEC 61000-2-6 приведены сведения о встречающемся полном гармоническом сопротивлении сетей;
- рассчитать или измерить гармонические токи, которые подключаемая СЭП будет инжектировать в систему (ответственность изготовителя);
- вычислить возникающие гармонические напряжения (ответственность пользователя).

Примечание — Все правила и методы, приведенные в IEC 61000-3-6, применимы к промышленным электрическим сетям, включая распределительные сети среднего напряжения (от 1 до 35 кВ включительно) и высокого напряжения (свыше 35 кВ), а также их низковольтные части.

В случае подключения к ТОП результирующие уровни гармонических напряжений не должны превышать плановые значения, определенные поставщиком электрической энергии. В случае подключения к ТВП результирующие уровни гармонических напряжений не должны превышать уровни электромагнитной совместимости.

Уровни электромагнитной совместимости для гармонических напряжений установлены в IEC 61000-2-2 применительно к низковольтным общественным системам, в IEC 61000-2-12 применительно к общественным системам среднего напряжения и в IEC 61000-2-4 применительно к частным промышленным системам.

В точке подключения может быть определена существующая номинальная мощность (называемая «согласованной внутренней мощностью», см. В.2.3.4 и В.2.3.5). Для СЭП, подлежащей подключению, следует устанавливать нормы помех. Разумное решение заключается в определении этих норм помех пропорционально отношению номинальной мощности СЭП к соответствующей согласованной внутренней мощности и пропорционально уровням электромагнитной совместимости, установленным в стандартах, приведенных выше.

В.4.2.4 Влияние помех телефонной связи

В Северной Америке и Финляндии из-за параллельной прокладки линий распределения энергии и телефонных линий возникла необходимость ввести «коэффициент влияния помех телефонной связи» (*TIF*). В подразделе 6.8 IEEE 519 (1992) представлены результаты «взвешивания» различных гармоник.

Эквивалентный псофометрический ток I_p определяют по формуле $I_p = I \times TIF$

и согласно практике вышеперечисленных стран рекомендуют применять формулу $I_p < I_{pA}$.

Внутри установки общие несимметричные токи гармоник в кабеле, питающем двигатель, могут вызвать помехи в телефонных линиях, если они идут параллельно. Этого следует избегать (см. 6.1.4).

В.4.3 Интергармоники и напряжения или токи более высоких частот

В полосе частот выше частоты гармонической составляющей 40-го порядка и до 9 кГц следует рассматривать СЭП в качестве эмиттера, являющегося источником напряжения. Отсутствующие требования к электромагнитной эмиссии от СЭП пока не стандартизованы уровни ЭМС.

Однако применение СЭП определенных видов может потребовать рассмотрения эмиссии интергармоник и напряжений или токов на более высоких частотах (до 9 кГц). Главным образом относится к СЭП высокой мощности, таким как циклические преобразователи и инверторы, являющиеся источником тока. Это может относиться к преобразователям с активным управлением началом и концом импульсов, в которых коммутирующие устройства с ШИМ непосредственно связаны с электрической сетью.

Интергармоники на частотах, слегка отличающихся от основной частоты или частот доминирующих гармоник, также могут вызвать колебания напряжения (см. В.6.2). Они являются результатом возникновения биений частот, которые могут иметь место в нелинейных системах, таких как осветительные системы (с функцией квадратичной обработки напряжения). Нелинейный отклик искажающего оборудования вызывает появление суммы и разности частот различных гармоник и интергармоник. Разностная частота может быть в пределах, вызывающих фликер. Главная причина появления фликера — циклические преобразователи и инверторы, являющиеся источником тока. Уровни ЭМС применительно к возможности появления фликера установлены в IEC 61000-2-4.

Интергармоники могут непосредственно воздействовать на коррекцию коэффициента мощности с применением батарей конденсаторов и фильтров гармоник, особенно из-за резонансов.

Эмиссия не должна превышать 80 % установленных уровней напряжения, приведенных ниже (см. IEC 61000-2-4 (2002), приложение С):

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,

где u — отношение среднеквадратического значения напряжения на данной частоте к среднеквадратическому значению основной составляющей напряжения;

u_b — уровень, относящийся к любой полосе частот шириной 200 Гц, центрированной на частоте F, определяемый по формуле:

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

где V_{1N} — номинальное среднеквадратическое значение основной составляющей;

$V(f)$ — среднеквадратическое значение напряжения на частоте f;

F — центральная частота полосы частот (выбираемой выше частоты гармоники 40-го порядка).

На более высоких частотах помехи возникают в основном от преобразователей с активным управлением началом и концом импульсов, в которых коммутирующие устройства с ШИМ имеют сильную связь с электрической сетью.

В.5 Несимметрия напряжений

В.5.1 Начальные сведения

Несимметрия напряжений в трехфазной системе в основном вызывается неравномерной нагрузкой в двух фазах из трех однофазными нагрузками. Несимметрия напряжений непосредственно связана со значением однофазной нагрузки как процентного отношения к номинальному значению и с полным сопротивлением питающей

электрической сети. В качестве примера приводят трехфазный трансформатор с заданным автоматическим регулированием и нагрузку, подключенную только между двумя фазами. Если нагрузка представляет собой значительный процент от номинальной мощности трансформатора, выраженной в кВ·А, выходные напряжения (фаза — нейтраль) двух фаз, присоединенных к нагрузке, будут уменьшены, тогда как третья обмотка без какой-либо нагрузки останется с теми же параметрами.

Значительная несимметрия может вызвать чрезмерное нагревание трансформаторов. Для того чтобы определить, может ли трансформатор питать однофазные нагрузки, которые представляют собой значительный процент номинальной мощности, выраженной в кВ · А, следует проконсультироваться с изготовителем.

Другие трехфазные нагрузки, подключенные к несимметричному трехфазному источнику электропитания, в основном будут подвергаться вредным воздействиям. В качестве примера: несимметрия может вызвать ток обратной последовательности, протекающий в трехфазном асинхронном двигателе, который уменьшает выходной момент вращения при номинальном токе или вызывает чрезмерное нагревание при номинальной выходной мощности двигателя. В некоторых двигателях 3 %-ная несимметрия может привести к 10 %-ному снижению их выходной мощности. Если состояние несимметрии имеет место в сети, питающей трехфазный двигатель, то необходимо проконсультироваться с изготовителем двигателя с тем, чтобы определить соответствующее снижение в целях безопасного функционирования двигателя.

B.5.2 Определения и оценка

B.5.2.1 Определения

Определения, относящиеся к несимметрии напряжений, приведены в IEC 61000-2-2, IEC 61000-2-4 или IEC 61000-2-12. Некоторые методы расчетов приведены ниже.

В многофазных системах несимметрия напряжений представляет собой условия, при которых среднеквадратические значения основных составляющих напряжений «линия — линия» или фазовые углы между последовательными фазами не равны. Для целей настоящего стандарта степень неравенства выражается отношением обратной последовательности основных составляющих к прямой последовательности составляющих.

При некоторых обстоятельствах в оценку несимметрии напряжений включают нулевую последовательность составляющих.

B.5.2.2 Полный анализ

Точные определения относятся к анализу трехфазных систем методом симметричных составляющих. Этот вид анализа основан на подходе, в соответствии с которым любые отклонения фазных напряжений от идеальной трехфазной системы могут быть описаны суммой трех систем векторов. Они называются «нулевая, прямая и обратная последовательности векторов» и определяются, как указано ниже:

$\underline{U}_A = \underline{U}_{A0} + \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2}$ напряжение фазы А;

$\underline{U}_{A0} = (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C)/3$ составляющая нулевой последовательности;

$\underline{U}_{A1} = (\underline{U}_A + \alpha\underline{U}_B + \alpha^2\underline{U}_C)/3$ составляющая прямой последовательности;

$\underline{U}_{A2} = (\underline{U}_A + \alpha^2\underline{U}_B + \alpha\underline{U}_C)/3$ составляющая обратной последовательности,

где $\underline{U}_A$, $\underline{U}_B$ и $\underline{U}_C$ — векторы фазных напряжений и «α» — оператор, $\alpha = -(1/2) + (\sqrt{3}/2)$.

Отношение обратной последовательности к прямой последовательности представляет собой несимметрию напряжений. Это определяется формулой:

$$\tau\ \% = 100U_2/U_1.$$

Пример 1: Амплитуды и фазовые углы напряжений «линия — нейтраль» известны, что позволяет рассчитать напряжения «линия — линия» и соответствующие фазовые углы:

$U_{AN} = 231{,}00$ и $0{,}0°$, $U_{BN} = 220{,}00$ и $-125{,}1°$, $U_{CN} = 215{,}00$ и $109{,}8°$

$U_{AB} = 400{,}26$ и $26{,}7°$, $U_{BC} = 386{,}03$ и $-98{,}0°$, $U_{CA} = 365{,}01$ и $146{,}3°$

В результате:

- нулевая последовательность $U_0 = 12{,}91$ и $35{,}2°$,

- прямая последовательность $U_1 = 221{,}41$ и $-5{,}0°$,

- обратная последовательность $U_2 = 11{,}78$ и $90{,}7°$

и несимметрия напряжений $\tau = 100(11{,}78/221{,}41) = 5{,}32$ ***%, с составляющей нулевой последовательности, равной 5,83 %.***

Пример 2: Амплитуды и фазовые углы напряжений «линия — нейтраль» известны, что позволяет рассчитать напряжения «линия — линия» и соответствующие фазовые углы:

$U_{AN} = 230{,}00$ и $0{,}0°$, $U_{BN} = 280{,}00$ и $-135{,}0°$, $U_{CN} = 170{,}00$ и $130{,}0°$

$U_{AB} = 471{,}57$ и $24{,}8°$, $U_{BC} = 340{,}00$ и $-105{,}1°$, $U_{CA} = 363{,}41$ и $159{,}0°$

В результате:

- нулевая последовательность. $U_0 = 34,26$ ***и*** $-138,7°$,

- прямая последовательность $U_1 = 223,09$ ***и*** $-3,7°$,

- обратная последовательность $U_2 = 49,59$ ***и*** $48,1°$

и несимметрия напряжений $\tau = 100(49,59/223,09) = 22,23$ ***%, с составляющей нулевой последовательности 15,36 %.***

B.5.2.3 Приближенные методы

Ниже представлены три приближенных метода. Первый метод обычно обеспечивает лучшие результаты при ошибке менее 5 % для несимметрии любого вида, фазовые углы напряжений «линия — нейтраль» для которой находятся в пределах ±15° и их амплитуды находятся в пределах ±20 % относительно соответствующей идеальной симметричной системы (прямой или обратной последовательности).

U_{12}, U_{23} и U_{31} — три напряжения «линия — нейтраль» с $\delta_{ij} = (U_{ij} - U_{average})/(3 \times U_{average})$ для каждого из трех напряжений «линия — нейтраль» и τ — несимметрия напряжений, являющаяся отношением обратной последовательности амплитуд напряжений к прямой последовательности амплитуд напряжений:

$$\tau \approx \sqrt{6\sum_{1}^{3}\delta_{ij}^2}.$$

Существенно более простое приближение:

$$\tau = \left(\frac{2}{3}\right)\cdot\left[\frac{U_{max} - U_{min}}{U_{average}}\right],$$

обеспечивающее приемлемые результаты (абсолютная ошибка в основном меньше 1 % для τ менее 7 %).

Формула, предложенная NEMA, также дает приемлемые результаты (абсолютная ошибка обычно меньше, чем 1 %) для τ менее 10 % или в случае, если фазовые сдвиги значительны:

$$\tau \approx \frac{MAX\left|U_{ij} - U_{average}\right|}{U_{average}}.$$

Пример 1:

$U_{AN} = 231,00$ $U_{BN} = 220,00$ ***и*** $U_{CN} = 215,00$

$U_{AB} = 400,26$ $U_{BC} = 386,03$ ***и*** $U_{CA} = 365,01$

$U_{average} = (400,26 + 386,03 + 365,01)/3 = 384,07$ ***и, исключая десятые доли,*** $U_{average} = (400 + 386 + 365)/3 = 383,66$

$\delta_{12} = 1,433$ % $\delta_{23} = 0,197$ % $\delta_{31} = -1,629$ %

Несимметрия напряжений равна $[6(1,433^2 + 0,197^2 + 1,629^2)]^{1/2} = 5,3$ %

или $(2/3) \times (U_{max} - U_{min})/U_{average} = (2/3) \times (400 - 365)/383,7 = 6,1$ %, ***или с использованием последней аппроксимации:*** $19,1/383,7 = 5,0$ %.

Пример 2:

$U_{AN} = 230,00$ $U_{BN} = 280,00$ ***и*** $U_{CN} = 170,00$

$U_{AB} = 471,57$ $U_{BC} = 340$ ***и*** $U_{CA} = 363,41$

$U_{average} = (471,57 + 340 + 363,41)/3 = 391,66$

$\delta_{12} = 6,801$ % $\delta_{23} = -4,397$ % $\delta_{31} = -2,404$ %

Несимметрия напряжений равна: $[6(6,801^2 + 4,397^2 + 4,397^2)]^{1/2} = 20,7$ % ***или*** $(2/3) \times (U_{max} - U_{min})/U_{average} = (2/3) \times (472 - 340)/391,7 = 22,4$ %, ***или с использованием последней аппроксимации:*** $80,6/391,7 = 20,6$ %.

B.5.3 Влияние на СЭП

Влияние на СЭП варьируется в зависимости от типа используемых силовой цепи и метода управления. Каждый тип управления и цепи следует детально проанализировать. В целом на регулируемые и нерегулируемые преобразователи, которые питают активные нагрузки, влияние будет небольшое. На преобразователи с фазовым управлением такого вида, которые используют линейное напряжение с фазовым сдвигом в качестве опорного сигнала, воздействие будет меньше, чем на преобразователи, которые используют линейное напряжение, синхронизированное с линией, и пересечения нуля в качестве опорного сигнала. Регулируемые и нерегулируемые преобразователи, питающие батареи конденсаторов, используемые в контуре постоянного тока инверторов (источников напряжения), имеют несимметрию токов существенно выше, чем несимметрии напряжений, и выше, чем преобразователи, питающие индуктивную нагрузку, например двигатель постоянного тока.

Особое внимание следует уделять конструкции преобразователей, питающих батареи конденсаторов, так как пиковый ток намного увеличивается за счет несимметрии напряжений. Для очень больших батарей конденса-

торов, в которых пульсирующее напряжение небольшое, пиковый ток от каждой фазы ограничивается только внутренним сопротивлением источника и любым дополнительным полным сопротивлением в СЭП и разницей между напряжением батареи конденсаторов и линейным напряжением. Отношение пиковых токов между фазами может достигать 20 % для 3%-ной несимметрии напряжений с 1%-ным внутренним сопротивлением источника. К счастью, это предельное состояние так маловероятно, что однофазная нагрузка может вызвать эту несимметрию с величиной 1 % сопротивления источника.

B.6 Провалы напряжения. Колебания напряжения

B.6.1 Провалы напряжения

B.6.1.1 Определение

Наиболее общей формой низкочастотных помех является провал напряжения или понижение напряжения в одной или во всех трех фазах. Провал напряжения представляет собой внезапное понижение напряжения в точке электрической системы, за которым следует восстановление напряжения после короткого промежутка времени от половины периода до нескольких секунд. Провал напряжения обычно вызывается ликвидацией поставщиком электрической энергии неисправностей в сетях запуском мощных двигателей у пользователя или в непосредственной близости от него. Исследования различных поставщиков в разных странах показали, что продолжительность провалов напряжения может колебаться от половины периода до 15 периодов или более при напряжениях, выходящих за пределы 10%-ного допустимого отклонения напряжения. Остаточное напряжение (наименьшее значение напряжения в течение провала) в настоящее время считают глубиной провала, характеризующей его значение (глубина провала представляет собой разность между опорным и остаточным напряжением). Остаточное напряжение в основном зависит от места размещения источника напряжения (обычно подстанции высокого/среднего напряжения), события, эквивалентного короткому замыканию, и точки наблюдения. Исчерпывающая информация приведена в IEC 61000-2-8.

B.6.1.2 Влияние на СЭП

B.6.1.2.1 Основные составляющие

Провалы напряжения могут отрицательно воздействовать на СЭП. Обычно, когда понижается напряжение источника питания, мощность, которая может передаваться от сети к двигателю, также снижается. Однако некоторые преобразователи СЭП компенсируют провалы напряжения с ограниченными характеристиками путем изменения углов контроля входных выпрямителей. Следует также учитывать, что рекуперативные преобразователи, позволяющие передавать механическую энергию от двигателя назад к питающей сети, могут функционировать в условиях провала напряжения.

Воздействие провала напряжения на СЭП следует рассматривать в соответствии с физической природой оборудования, приводимого в движение. Более того, электронные устройства управления СЭП и компоненты силового преобразователя следует при этом разделять (см. IEC 61000-2-8).

Управляющая часть СЭП может обладать устойчивостью с критерием качества функционирования А к определенным видам провалов напряжения, но эта устойчивость может быть не использована, если она не согласована с поведением преобразователя или оборудования, приводимого в движение. Преобразователь не обладает способностью сохранять энергию. Оборудование, приводимое в движение, имеет в основном малую способность запасать энергию, что может быть использовано при определенных условиях. Требовать, чтобы устойчивость СЭП к провалам напряжения строго соответствовала устойчивости управляющей части СЭП, было бы ошибкой. Необходимо документировать последовательность управления, чтобы предоставить возможность пользователю адаптировать требования к оборудованию, приводимому в движение.

B.6.1.2.2 Регулируемые преобразователи

Регулируемые преобразователи, например, сконструированные с применением тиристоров или транзисторов, в основном применяются для преобразования переменного тока в постоянный ток с регулируемым напряжением. Логическую схему, используемую для синхронизации регулирования силовых полупроводниковых приборов, часто проектируют так, чтобы не происходило выпрямление при падении сетевого напряжения ниже конкретного значения. В некоторых случаях регулирование отключается, пока пользователь не перезапустит логическую схему, или (в других случаях) функционирование возобновляется, только если напряжение возвращается в течение соответствующего периода времени. Обычно СЭП не может управлять двигателем во время провала напряжения, и контроль не осуществляется до тех пор, пока не произойдет перезапуск логической схемы. Если процесс, которым управляет СЭП, является критическим, то характер обсуждения проблем с ее изготовителем должен обеспечивать, чтобы реакция логической схемы на провал напряжения была совместима с требованиями процесса. В некоторых критических случаях необходимо предпринимать дополнительные меры (например, гарантировать альтернативные источники энергии) для обеспечения функционирования процесса при значительных провалах напряжения.

Во время провалов напряжения мощность, создаваемая в ОМП/ПМП и передаваемая двигателю, снижается, что может повлиять на функционирование, зависящее от рабочих точек двигателя. Рассмотрим случай регулируемого преобразовательного моста на шести тиристорах, передающего энергию к двигателю постоянного тока. Если двигатель работает на высокой скорости, провалы напряжения могут вызвать спад пика линейного напряжения ниже напряжения якоря. Тиристоры отключаются с помощью якорной цепи, ток в которой будет снижаться. Если провал напряжения случается, когда двигатель работает на малой скорости, схема управления может дать им-

пульс в контрольной точке и компенсировать пониженное напряжение. В этом случае регулирование двигателя не происходит. Что касается критических нагрузок, то влияние провала напряжения должно обсуждаться с изготовителем СЭП, с тем чтобы определить, как схема управления будет реагировать на провал напряжения.

Рекуперативные преобразователи такого типа, который использует линейное напряжение для переключения тиристоров моста, особенно чувствительны к провалам напряжения. Если линейное напряжение падает слишком низко во время обратного потока мощности, регулирование потока мощности от двигателя к сети не происходит, так как тиристоры не могут быть отключены. Если схема управления не реагирует либо провал напряжения происходит внезапно или случается после включения тиристора, то тиристор не может быть отключен и на двигатель могут быть поданы излишние нерегулируемые токи. Эти токи могут привести к потенциально вредным воздействиям на оборудование, приводимое в движение, или даже к разрушению двигателя. Для критических нагрузок воздействие провалов напряжения на рекуперативные преобразователи следует обсуждать с изготовителем СЭП, с тем чтобы определить, как цепи управления и силовые цепи будут реагировать на провал напряжения. Для критических нагрузок может использоваться дополнительная электрическая схема для уменьшения влияния напряжения на работу СЭП.

Провалы напряжения могут воздействовать также на рекуперативные преобразователи, которые переключаются с помощью управляющих средств. Воздействие помех связано с тем, что понижение напряжения во время провала может уменьшить мощность, передаваемую от нагрузки к двигателю и к сети. Если такое явление присутствует, то в этом интервале времени двигатель не регулируется.

B.6.1.2.3 Нерегулируемые преобразователи

На нерегулируемые преобразователи, например диодные мосты, провалы напряжения существенно не влияют, за исключением высоких пусковых токов, которые могут течь в батареи конденсаторов преобразователей источников напряжения после возобновления напряжения. Однако их выходная мощность и напряжение во время провала напряжения снижаются. Снижение мощности может вызывать неблагоприятные воздействия на другие части СЭП. Если, например, преобразователь снабжает электропитанием инвертор, то выходная мощность инвертора будет ограничена и регулирование двигателя переменного тока будет потеряно.

Некоторые изготовители также запрещают работу в случае, если напряжение, питающее инвертор, падает ниже соответствующего значения. Некоторые конструкции СЭП также требуют того, чтобы логическая схема была перезапущена перед тем, как работа продолжится, но во время выключения логической схемы управление двигателем не происходит. Этот временной интервал может увеличиться, насколько это необходимо для синхронизации логической схемы управления инвертора, с фактической скоростью двигателя после потери управления.

Синхронизация необходима для того, чтобы привести частоту выходного сигнала от инвертора в соответствие с фактической скоростью двигателя. Процесс синхронизации определяет соответствующие частоту и напряжение, которые необходимо подавать к двигателю для плавного перехода от движения по инерции к управляемому движению.

СЭП с крупной батареей конденсаторов могут проходить через короткие провалы напряжения благодаря энергии, накопленной в батарее конденсаторов. В целом изготавливать батарею конденсатора достаточно объемной, чтобы она могла обеспечить работу во время провалов напряжения, неэкономично. При наличии критических нагрузок для подачи энергии во время провала напряжения может использоваться батарея. СЭП с адаптированным регулированием могут продолжать функционировать во время прерывания напряжения, обеспечивая выходную мощность, близкую к нулю. Во всех случаях воздействия провалов напряжения на функционирование СЭП их следует обсуждать с изготовителем, с тем чтобы определить, соответствует ли СЭП требованиям к оборудованию, приводимому в движение.

B.6.1.2.4 Общие виды защиты

Устойчивость к провалам напряжения в значительной степени зависит от вида преобразователя и его нагрузки. Абсолютная защита может быть крайне дорогостоящей, и поэтому защиту необходимо тщательно выбирать с учетом требований процесса.

Абсолютная защита требует дублирующего источника электропитания. Например, это может быть система бесперебойного питания (СБП) дополнительно к СЭП или источник постоянного тока (батарея), подающий энергию в линию постоянного тока инвертора — источника напряжения.

Последовательное прохождение — метод управления, позволяющий избежать переходного сверхтока без использования резервного источника энергии. Следовательно, скорость движения пассивной нагрузки неизбежно снизится до такого уровня, который определяется отношением момента вращения нагрузки к инерции. В целях безопасности этот вид защиты нельзя использовать при активных нагрузках (например, в случае подъема во время рекуперации, при котором необходимо механическое торможение).

Перезапуск на ходу — возобновление последовательного прохождения циклов преобразования, которое может применяться в случае пассивных нагрузок с длительным или очень длительным временем простоя при движении нагрузки по инерции. Это также может быть защита от провалов или кратковременных прерываний.

Автоматический перезапуск всегда предполагает условия обеспечения безопасности, ответственность за которые возлагается на пользователя.

B.6.2 Колебания напряжения

Интергармоники могут вызывать фликер в осветительном оборудовании, как указано в B.4.3. Уровни электромагнитной совместимости приведены в IEC 61000-2-2, IEC 61000-2-4, IEC 61000-2-12 с учетом вида электрической сети. Эмиссия интергармоник от СЭП должна быть ограничена так, чтобы расчетные значения гармонических напряжений в ТВП, вызываемых данной СЭП, не превышали 80 % уровней электромагнитной совместимости.

СЭП, приводящие в движение большие нагрузки, например ударные прессы, электрические пилы и механические станки, периодически требуют подачи больших токов из питающей сети, что вызывает колебания напряжения в сети. Значение внутреннего полного сопротивления сети, питающей эти СЭП, должно быть таким, чтобы колебания напряжения не превышали допустимых пределов, равных 10 %.

Пиковые нагрузки, которые в среднем не превышают номинальных значений системы питания, но создают отклонения напряжения питания, превышающие допустимые, также следует принимать во внимание при установлении значения полного сопротивления. В общественной сети колебания напряжения от отдельного образца оборудования не должны превышать 3 %. Если колебания происходят часто, нормы фликера должны устанавливаться для общественных электрических сетей, а также других сетей, питающих осветительные нагрузки (см. 6.2.4).

B.7 Верификация устойчивости к низкочастотным электромагнитным помехам

В соответствии с 5.2.1 устойчивость СЭП к воздействию низкочастотных электромагнитных помех может быть проверена расчетами, имитацией или испытаниями. Для выбора метода верификации в отношении помехи конкретного вида изготовитель может заполнить ячейки таблицы B.3.

Таблица B.3 — План верификации устойчивости СЭП к низкочастотным электромагнитным помехам

Электромагнитная помеха	Расчеты	Имитация	Испытания	Анализ	Не применяется
Гармоники напряжения					
Коммутационные провалы					
Отклонения напряжения					
Изменения напряжения					
Колебания напряжения					
Провалы напряжения					
Несимметрия напряжений					
Отклонения частоты					
Магнитные поля, вызываемые источником питания					

Приложение С
(справочное)

Компенсация реактивной мощности. Фильтрация

С.1 Установка

С.1.1 Обычное функционирование

Пользователь электрической энергии, передаваемой из распределительной сети, обычно имеет несколько или много аппаратов, подключаемых к одной и той же ТОП. Для того чтобы охарактеризовать комбинацию аппаратов, оборудования или систем с их системой питания, подключенных к ТОП, используют термин «установка».

Многие промышленные установки включают в себя несколько отдельных СЭП.

Обсуждение коэффициента мощности, реактивной мощности и эмиссии гармоник тока и напряжения применительно к отдельной СЭП является недостаточным и может вызвать ненужные технические трудности. Единственное решение, требуемое на практике, должно быть принято в отношении установки в целом. Установка включает в себя много различных нагрузок.

В установившемся режиме работы в любой точке трехфазной сети переменного тока фазное напряжение и линейный ток представляют собой периодически изменяющиеся величины с периодом Т и частотой $f = 1/T$. Редко бывает, чтобы напряжение и ток не имели фазового сдвига и не включали в себя гармонических составляющих, которые искажают чистые синусоидальные сигналы. Учитывая, что электрическая энергия распределяется с помощью источников напряжения, форма кривой тока в любой точке системы энергоснабжения (сети электропитания, преобразователя или источника электропитания промышленной установки) искажается больше, чем форма кривой напряжения. Поэтому для вычисления активной и реактивной мощности целесообразно принять, что в любой точке сети электропитания напряжение представляет собой чистый синусоидальный сигнал, среднеквадратическое значение которого (между фазой и нейтралью) равно V. Расчет активной мощности P в отдельной фазе проводится по формуле

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)i(t)dt,$$

которую можно упростить и выразить как

$$P = VI_1 \cos(\varphi_1),$$

где I_1 — среднеквадратическое значение основной составляющей линейного тока;

φ_1 — фазовый сдвиг между основными составляющими тока и фазного напряжения;

P — условно положительная величина, когда ток I имеет фазовый сдвиг менее π/2 относительно напряжения (напряжение в вольтах и ток в амперах дает мощность в ваттах). На том же основании реактивная мощность Q, выраженная в вольт-амперах реактивных (вар), определяется как

$$Q = VI_1 \sin(\varphi_1).$$

Эта физическая величина подтверждает наличие внутри промышленной установки реактивных элементов, например индуктивностей или конденсаторов. Принимают, что эти элементы являются потребителями реактивной мощности, если величина Q является положительной (наличие индуктивностей), или создают реактивную мощность, если величина Q является отрицательной (наличие конденсаторов).

Аналогично этому кажущаяся мощность S, выраженная в вольт-амперах (В · А), в точке сети электропитания определяется как произведение среднеквадратических значений напряжения (фазного) и общего тока:

$$S = VI_1.$$

В трехфазной сети активная мощность, реактивная мощность и кажущаяся мощность — это сумма соответствующих мощностей в каждой фазе, т. е. для симметричной системы:

$$P = 3VI_1 \cos(\varphi_1) = \sqrt{3}UI_1 \cos(\varphi_1),$$

$$Q = 3VI_1 \sin(\varphi_1) = \sqrt{3}UI_1 \sin(\varphi_1),$$

$$S = 3VI = \sqrt{3}UI,$$

где U — среднеквадратическое значение линейного напряжения.

Коэффициент мощности λ определяется как отношение активной мощности к полной мощности и выражается в однофазной, а также в трехфазной нагрузке по следующей формуле:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{I_1}{I}\cos(\varphi_1).$$

Эта основная формула показывает, что коэффициент мощности зависит от фазового сдвига (между током и напряжением) и гармонических составляющих тока.

Таким образом, основное допущение заключается в том, что напряжение рассматривается как сигнал чисто синусоидальной формы, а форма тока искажается. Это допущение делают для того, чтобы рассчитать мощность и все связанные с ней факторы, например коэффициент мощности. Для других расчетов, например расчетов искажения гармоник напряжения под действием нагрузки, следует рассматривать внутреннее полное сопротивление сети. Искажение синусоидальности напряжения под действием нагрузки можно вычислить из искаженного тока, протекающего в данной точке, и внутреннего полного сопротивления сети, подведенной к этой точке.

С.1.2 Практические решения

С.1.2.1 Общая практика

Хорошо известно, что для исключения перенапряжения установки и излишнего повышения тока, протекающего в распределительной сети, необходимо работать с высоким коэффициентом мощности. Но практически этот коэффициент мощности рассматривается только с точки зрения реактивной мощности, тогда как в действительности здесь затрагивается также и содержание гармоник.

Обычно имеет место потребление реактивной мощности промышленной установкой. Поэтому принято проводить общую компенсацию, с тем чтобы снизить коэффициент сдвига фаз и таким образом снизить потребление установкой реактивной мощности. Для этого конденсаторы устанавливают ближе к потребителю реактивной мощности либо ближе к ТОП в целом. В некоторых странах поставщики электрической энергии вводят дополнительную плату с учетом коэффициента сдвига фаз, особенно при интенсивном использовании распределительной сети.

С.1.2.2 Изменения общей практики

С учетом важности рассмотрения коэффициента мощности и из-за увеличения объемов использования нелинейных нагрузок необходимо проводить компенсацию гармоник. Может проводиться общая компенсация гармоник с фильтрацией всей установки или локальная компенсация с фильтрами, устанавливаемыми в непосредственной близости к нелинейным нагрузкам. Возможно, более предпочтительным является использование нагрузок, не создающих помех.

Из сказанного выше следует, что необходимыми являются два вида компенсации: компенсация, относящаяся к коэффициенту сдвига фаз, и компенсация, относящаяся к содержанию гармонических составляющих тока. Для каждого из этих видов компенсации используют два подхода: общий подход для всей установки или локальный подход для каждой нелинейной нагрузки. Могут рассматриваться четыре случая компенсации, но ни один из них не является независимым, поэтому данная проблема должна обсуждаться более подробно.

С.1.3 Компенсация реактивной мощности

С.1.3.1 Общие критерии компенсации

Коррекцию коэффициента мощности оборудования проводят с помощью конденсаторных батарей, подключаемых к линии электропитания электромеханических или статических преобразователей. Далее рассматриваются электромагнитные явления, связанные с конденсаторными батареями, подключенными электромеханическими преобразователями.

Емкость устанавливаемой конденсаторной батареи зависит от активной и реактивной мощностей, необходимых для системы, а также от изменения мощности в течение дня (характеристик изменения нагрузки во времени). Емкость конденсаторной батареи зависит также от практики установления размеров платежей за коммунальные услуги.

Компенсация реактивной мощности зачастую определяется в зависимости от среднего значения потребления энергии (активной и реактивной) в период наибольшей нагрузки в течение дня в течение месяца.

Примечание — Понятие «реактивная электрическая энергия», используемое в настоящем разделе, определяется как интеграл от реактивной мощности в определенном временном интервале.

Для оценки коэффициента мощности необходимо знать следующие критерии предоставления коммунальных услуг:

- периоды высокой нагрузки в течение дня;
- ограничения свободного от нагрузки коэффициента реактивной мощности (например, tg φ);
- данные пользователя, такие как, например, характеристика изменения нагрузки во времени.

Следует учитывать, что компенсация потребления реактивной мощности не может быть ни постоянной, ни долговременной. Постоянная компенсация в действительности привела бы к подпитке сети электропитания реактивной мощностью в определенное время. В результате увеличилось бы напряжение в установке пользователя, что не является целесообразным. Такой подход к компенсации может рассматриваться для всей установки и практически является невозможным для каждой СЭП.

С другой стороны, конденсаторы могут устанавливаться на стороне низкого напряжения либо на стороне среднего напряжения. Обычная практика показывает, что установка на стороне среднего напряжения является экономически выгодной, если компенсация реактивной мощности достигает 600 квар. При низких номинальных значениях реактивной мощности более предпочтительной является установка на стороне низкого напряжения.

Если конденсаторы компенсации коэффициента мощности предназначены для установки в сетях с источниками гармонического синусоидального тока, то рекомендуется, чтобы последовательно с конденсаторами вклю-

чались индуктивности. Это необходимо для того, чтобы конечные резонансные частоты сдвигались ниже самой низкой частоты характеристических гармоник, обычно пятой гармоники (см. С.1.3.4).

С.1.3.2 Применение компенсации при низком напряжении

С.1.3.2.1 Различные решения

В соответствии с местными условиями можно определить три вида компенсации (см. рисунок С.1):

- индивидуальная компенсация аппаратов;
- групповая компенсация;
- общая компенсация.

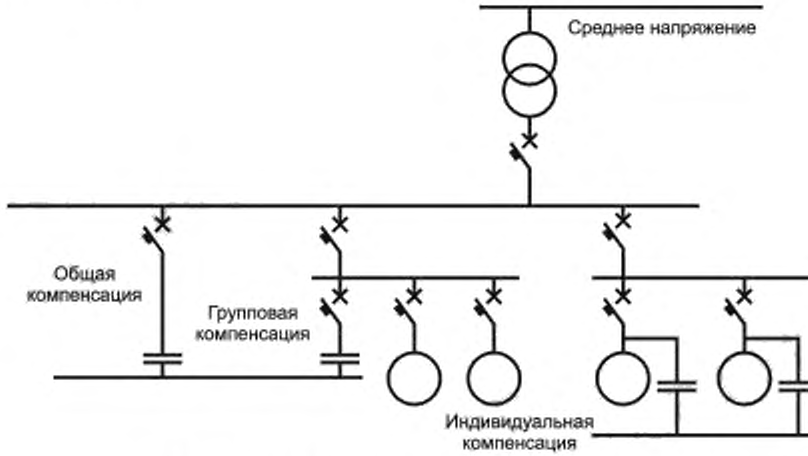


Рисунок С.1 — Компенсация реактивной мощности

С.1.3.2.2 Индивидуальная компенсация для двигателя, связанного непосредственно с сетью

Индивидуальная компенсация особенно рекомендуется при наличии двигателя с постоянной скоростью вращения номинальной мощностью свыше 25 кВт и если он должен работать в течение большей части рабочего времени. Данное условие, в частности, применяется к приводным двигателям машин с высокой инерцией, таким, например, как вентиляторы. Коммутационное устройство двигателя автоматически подключает или отключает конденсатор. Целесообразно убедиться в отсутствии опасности резонанса.

a) **Преимущества:** Реактивная энергия создается непосредственно в той точке, в которой она потребляется. Снижение нагрузки реактивного тока происходит по всей длине кабеля электроснабжения. Отдельная компенсация, таким образом, больше способствует снижению кажущейся мощности, потерь напряжения и провалов напряжения в проводниках.

b) **Недостатки:** Для малых потребителей индивидуальная компенсация является относительно дорогостоящей, так как несколько небольших конденсаторов являются более дорогими, чем отдельная крупная конденсаторная батарея. Когда конденсаторы подключены, они увеличивают напряжение сети локально. При этом становится необходимым их отключение от сети общего пользования (высоковольтной) в период малой нагрузки, чтобы снизить напряжение. Следует учитывать, что повышенное напряжение связано с риском приложения чрезмерного напряжения к оборудованию и приводит к его преждевременному старению. Следовательно, конденсаторы должны присоединяться к сети по возможности с помощью их собственных коммутирующих устройств. Важным недостатком является тот факт, что чрезмерное использование конденсаторов в промышленной электросети повышает опасность возникновения резонанса. Все эти факторы значительно ослабляют потенциальные преимущества, которые можно получить от индивидуальной компенсации.

С.1.3.2.3 Групповая компенсация

В случае групповой компенсации отдельная конденсаторная батарея, управляемая ее собственным распределительным устройством, компенсирует группу потребителей реактивной энергии, расположенную в цехе или в какой-либо отдельной зоне.

a) **Преимущества:** Групповая компенсация требует меньших вложений, чем индивидуальная компенсация. Однако график нагрузки должен быть известен заранее, чтобы правильно рассчитать емкость конденсаторных батарей и избежать опасности возникновения перекомпенсации (когда реактивной мощности поставляется больше, чем требуется), которая вызывает постоянные перенапряжения, приводящие к преждевременному старению оборудования. Конденсаторная батарея оборудована собственным распределительным устройством, что облегчает возможность ее отключения в периоды малых нагрузок в общественной сети общего пользования, даже если соответствующие потребители мощности остаются присоединенными.

b) **Недостатки:** Кабели электроснабжения различных потребителей мощности должны быть рассчитаны для пропускания как реактивного, так и активного тока. Кроме того, необходимо обеспечить защиту конденсаторов (использовать, например, плавкие предохранители, автоматические выключатели и т. д.) и их разряд в целях безопасности (разрядные резисторы) во время технического обслуживания и ремонта. За плавкими предохранителями необходимо обеспечивать регулярное наблюдение.

С.1.3.2.4 Общая компенсация

В случае общей компенсации производство реактивной энергии сконцентрировано в одной конкретной точке, чаще всего на подстанции или в достаточно большом и хорошо вентилируемом помещении. В установках с малыми потребителями мощности в основном рекомендуется применять автоматически регулируемую центральную компенсацию, с тем чтобы избежать перекомпенсации. Если кривая нагрузки показывает небольшие колебания, необходимо только включать всю батарею в периоды работы установок.

a) **Преимущества:** Конденсаторные батареи имеют хороший коэффициент загрузки, легче осуществляется контроль за установкой. Кроме того, с автоматическим управлением конденсаторной батареей график нагрузки установки отслеживается эффективно, без вмешательства человека (то есть без ручного соединения и разъединения). Такое решение является наиболее экономически выгодным, если колебания нагрузки несвойственны конкретным потребителям мощности.

b) **Недостатки:** Работающие ниже по сети установки являются источниками реактивной энергии.

С.1.3.3 Применение компенсации при среднем напряжении

Обычно компенсация проводится на централизованной основе. Конденсаторы группируют в батарее на подстанции среднего напряжения. Батареи через автоматический выключатель присоединяют к шине среднего напряжения. Их мощность может достигать нескольких мегавар (Мвар), и они могут подразделяться на меньшие секции, которые последовательно приводятся в действие для получения оптимальной компенсации как функции графика дневной нагрузки. Каждая секция управляется коммутационным устройством, предусмотренным для подключения конденсаторов с учетом функции графика дневной нагрузки или контроля «он-лайн».

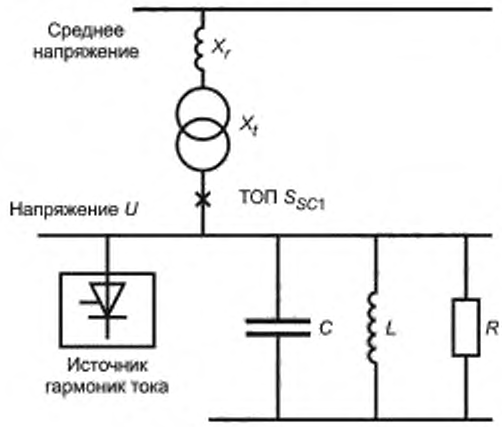
a) **Преимущества:** Если уровни мощности конденсаторных батарей превышают 600 квар, стоимость компенсации при среднем напряжении будет, как правило, меньше стоимости компенсации при низком напряжении.

б) **Недостатки:** Данный метод компенсации не приводит к снятию напряжения в той части сети, которая расположена ниже конденсаторов. Включение конденсаторной батареи вызывает выбросы напряжения. Коммутацию конденсаторных батарей необходимо проводить более осторожно, чем с конденсаторами в секции низкого напряжения.

С.1.3.4 Опасности возникновения резонанса

Опасности возникновения резонанса возникают из-за одновременного наличия в сети конденсаторов для компенсации реактивной мощности и источников гармонических токов, включающих в себя статические преобразователи.

Упрощенная схема промышленной сети, включая пассивную нагрузку R-L и конденсаторную батарею, полностью компенсирующую нагрузку, представлена на рисунке С.2.



P — активная мощность пассивной нагрузки и потерь; Q — реактивная мощность пассивной нагрузки; X_r — полное сопротивление сети электропитания при мощности короткого замыкания S_{SC0}; X_t — полное сопротивление трансформатора с кажущейся мощностью S_N (реактивное сопротивление x_{SC}); ТОП — точка общего присоединения к шине вторичной обмотки с мощностью короткого замыкания S_{SC1}; R, L — сопротивление и индуктивность соответствующие активной и реактивной мощности P и Q нагрузки; C — конденсатор для компенсации реактивной энергии с мощностью Q_{cond}

Рисунок С.2 — Упрощенная схема промышленной сети

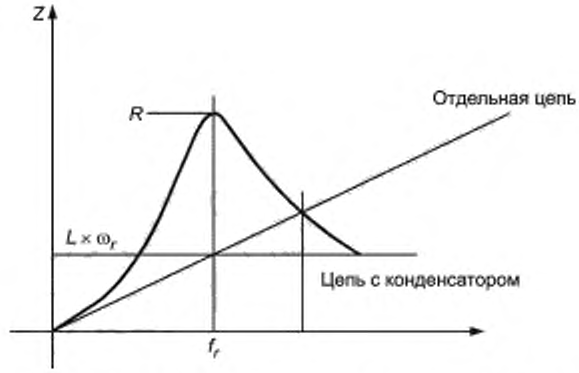


Рисунок С.3 — Полное сопротивление в зависимости от частоты при упрощенной схеме сети

Изменения гармонического полного сопротивления электрической сети в ТОП и опасности возникновения резонанса, связанного с наличием источника гармонических токов, представлены на рисунке С.3. Полные сопротивления X_r и X_1, сети «выше по потоку» способствуют снижению мощности короткого замыкания от значения S_{SC0} до значения S_{SC1}:

$$S_{SC1} = (1/S_{SC0} + X_{SC}/S_N)^{-1}.$$

Следовательно, эквивалент полного сопротивления гармоник (Z_h) сети в ТОП относительно порядка гармоники h имеет значение:

$$Z_h = (hU)^2[(h^2Q_{cond} - S_{sc1} - Q)^2 + h^2P^2]^{-1/2},$$

а резонансная частота рассчитывается по формуле:

$$f_r = f_1[(S_{sc1} + Q)/Q_{cond}]^{1/2},$$

где f_1 — частота основной гармоники.

На рисунке С.3 показаны изменения полного сопротивления Z_h и полного сопротивления сети только для X_r и X_1 в зависимости от частоты, при этом значение Z_h показывает усиление при резонансной частоте f_r по сравнению с полным сопротивлением самой сети. Примеры полных сопротивлений сетей и различных вариантов регулирования приводятся в IEC 61000-3-6.

Если на определенных частотах гармоник полное сопротивление сети становится высоким и на соответствующих частотах происходит подлитка гармоническими токами, возникают существенные гармонические напряжения в соответствии с законом Ома. Таким образом, между индуктивностями и конденсаторами сети возникает резонанс. Это приводит к последствиям:

a) опасность перегрузки конденсаторов из-за сверхтоков, протекающих по конденсаторам, особенно на высоких частотах гармоник;

b) опасность пробоев на выводах этих конденсаторов из-за значительных гармонических напряжений;

c) нарушение работы аппаратуры с чувствительными электронными элементами и перегрев обмоток двигателя при высоких гармонических напряжениях на выводах промышленной установки;

d) образование гармонических токов в распределительной сети и в других установках потребителя при возникновении гармонических напряжений.

Следует принять соответствующие меры по обеспечению снижения излучения источниками гармонического тока либо установить фильтры. Расположение конденсаторов в промышленной сети является, таким образом, важным фактором возникновения резонансов.

Проблемы резонанса зачастую вызывают необходимость проведения подробного анализа сети электроснабжения для их разрешения. Эти проблемы не являются систематическими по своему характеру, но при их возникновении последствия чаще всего означают нанесение вреда оборудованию, не говоря уже об их влиянии на его ускоренное старение.

В настоящем разделе рассмотрена одна схема компенсации реактивной мощности. Следует обратить внимание на то, что увеличение числа таких схем в сети повышает опасность возникновения резонанса.

С.1.4 Методы фильтрации

С.1.4.1 Критерии

При применении фильтров в СЭП возникают трудности, сходные с теми, что появляются при применении фильтров в установках. Сведения, приведенные в С.1.3.2—С.1.3.4 относительно компенсации реактивной мощности, применимы к СЭП, лишь исходные критерии являются специфическими.

Фильтры в СЭП следует применять в случае вероятного возникновения чрезмерного уровня искажений высоковольтного напряжения. Уровень искажений напряжения оценивают в соответствии с В.3 и В.4. Для каждой конкретной СЭП известны обычные характеристики гармонической эмиссии, т. е. уровни гармонических токов. Но этих характеристик для расчета фильтра недостаточно.

Как правило, фильтром является оборудование, присоединенное к сети, представляющее собой крайне низкое полное сопротивление на тех отдельных частотах, которые должны фильтроваться. Фильтр поглощает гармонические токи этих отдельных частот. Однако не устанавливаются различия между гармоническими токами, идущими от СЭП, где ток проходит через фильтр с низким полным сопротивлением (в отличие от сети с более высоким полным сопротивлением), и гармоническими токами, возникающими от гармонического напряжения, существующего в сети, которые определяются суммой гармонического полного сопротивления сети и сопротивления фильтра (см. рисунок С.4). Из указанного выше следует, что расчет фильтра является достаточно сложным процессом, при этом следует учитывать три основных параметра:

- ток, подлежащий фильтрованию, источником которого является СЭП (ответственность изготовителя СЭП);
- существующее гармоническое напряжение (возможно применение уровней ЭМС, но в целом их применение привело бы к переоценке номинальных характеристик фильтра);
- полное гармоническое сопротивление в системе (ответственность распределителя энергии предприятия пользователя, если это ТВП, и сетевой организации, если это ТОП).

Конструкция таких фильтров требует обмена информацией между поставщиком системы и пользователем.

Важно отметить, что знаний значений гармонического напряжения недостаточно, если неизвестно полное гармоническое сопротивление. Часто для правильной оценки фильтра необходимы предварительные измерения напряжений и полного сопротивления.

В результате по причинам, указанным в С.1.3.4, возникает опасность последовательно-параллельных резонансов.

С.1.4.2 Пассивный фильтр

Наиболее традиционными фильтрами являются пассивные резонансные контуры (последовательное соединение индуктивности и емкости) или демпфированные контуры с присоединением резисторов или более сложных структур, что увеличивает число полюсов и нулей в полном сопротивлении фильтра.

Фильтр имеет очень низкое полное сопротивление при определенной частоте, которая является кратной частоте сети. Батарея фильтров с различными параллельно соединенными резонансными контурами обеспечивает фильтрацию гармоник с порядками, например, 5, 7, 11, 13 (см. рисунок С.4). Батарея фильтров может также включать в себя высокочастотные помехоподавляющие фильтры. Батареи фильтров конструируют для постоянной частоты сети, и в случае, если фильтры слабо демпфированы, эффективность фильтра зависит от стабильности частоты сети.

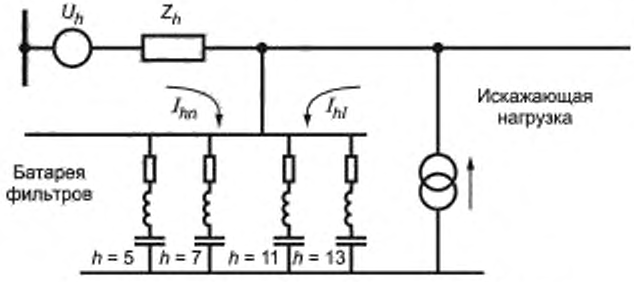


Рисунок С.4 — Пример батареи пассивных фильтров

Следует отметить, что при фильтрации интергармоник необходимо применять демпфированные фильтры и фильтрация интергармоник эффективна только в узкой полосе частот.

Что касается опасности возникновения резонансов, следует обратить внимание на следующие два основных явления:

- в основном резонанс возникает на частоте, которая несколько ниже частоты настройки фильтра. Необходимо проверить, не повлияет ли резонанс на контроль колебаний напряжения или сигнализацию по сети, которая может использоваться в системе энергоснабжения. Пользователь совместно с представителями сетевых организаций обязан информировать изготовителя о такой возможной работе сети и характеристиках несущих частот;
- фильтрация каждой СЭП повышает опасность возникновения резонансов, что в результате может повлиять на большую часть установки. В целом только анализ, проведенный в каждом конкретном случае, может устранять подобные сложности, поэтому предпочтительнее осуществлять общую компенсацию.

С.1.4.3 Место расположения фильтра

В случае применения индивидуального фильтра оборудование фильтрации должно находиться как можно ближе к искажающей СЭП.

Однако при применении предпочтительного метода общей компенсации расположение и структура фильтра должны выбираться с учетом следующих параметров установки:

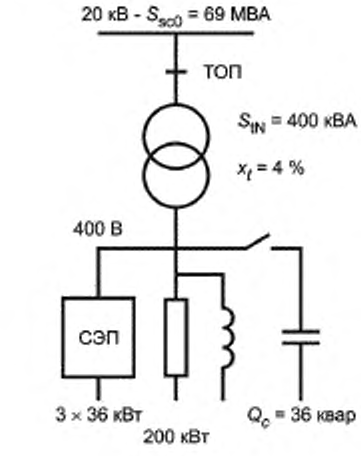
- секции с естественной развязкой в сети;
- другие искажающие СЭП или нагрузки с характеристиками вносимых искажений, т. е. характеристиками эмиссии гармонических токов;
- полные сопротивления распределительной сети, особенно при использовании длинных кабелей или схем компенсации реактивной мощности (см. С.2).

С.2 Реактивная мощность и гармоники

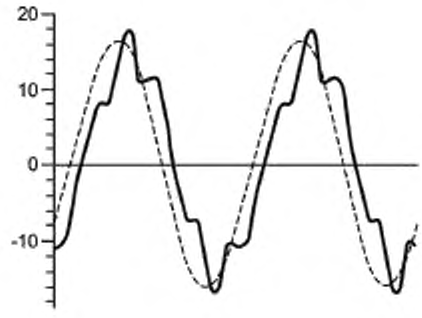
С.2.1 Обычные методы подавления помех

Как указано в С.1.1, методы компенсации реактивной мощности и фильтрации гармонических токов в значительной степени взаимосвязаны и поэтому не могут применяться независимо друг от друга.

В соответствии с С.1.3.4 опасность резонанса возникает, как только конденсатор присоединяется к электрической сети, которая по своему характеру является индуктивной. Электрические кабели также вносят емкостное сопротивление в сеть. Применение конденсатора, компенсирующего реактивную мощность, приводит к увеличению гармонических токов в ТОП, как показано на рисунке С.5. Значительные гармонические токи также протекают через конденсатор.

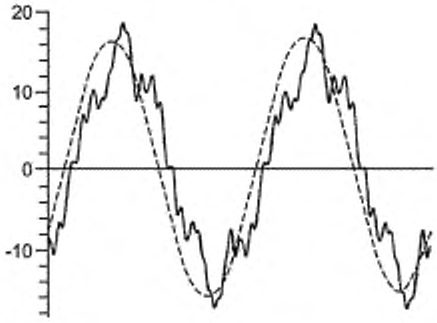


a) Схема цепи



Сплошная линия – ток, А;
пунктирная линия – напряжение линия – нейтраль, кВ

b) Формы тока и напряжения в точке общего присоединения (Q_c не подключен)



Сплошная линия – ток, А;
пунктирная линия – напряжение линия – нейтраль, кВ

c) Формы тока и напряжения в точке общего присоединения (Q_c подключен)



Сплошная линия – ток, А

d) Ток в Q_c

Рисунок С.5 — Пример несовершенного решения при компенсации реактивной мощности

Как следует из рисунка С.5, сложности возникают уже с одним конденсатором и увеличиваются с числом конденсаторов, используемых для компенсации реактивной мощности. Чрезмерное использование в сети конденсаторов для пассивной фильтрации, а также для компенсации реактивной мощности увеличивает число возможных резонансных частот. Поэтому применение общей компенсации, распространяющейся на всю систему, приводит к наилучшим результатам.

Более того, переход к индивидуальной компенсации реактивной мощности с одновременной фильтрацией гармоник увеличивает опасность перепроизводства реактивной мощности. Фактически эффективная пассивная фильтрация также производит значительное количество реактивной мощности. Поэтому совместное рассмотрение двух этих процессов дает возможность найти наилучшее решение путем разработки оптимального оборудования для установки в целом.

С.2.2 Другие решения

С.2.2.1 Общие положения

Основным недостатком пассивных фильтров является неспособность их к адаптации к изменениям сети и составных частей фильтра (старение, зависимость от температуры и т. д.). Пассивный фильтр является эффективным, если его полное сопротивление на определенной частоте мало меняется по сравнению с изменениями полного сопротивления источника питания. В некоторых случаях компенсация затрудняется, если источник питания имеет небольшое полное сопротивление или частотная характеристика фильтра неточно настроена на гармоники, создаваемые нагрузкой. Однако наиболее серьезными проблемами являются последовательные или параллельные резонансы, которые могут возникать в сети.

Следовательно, как для сетевых организаций, так и для индивидуального пользователя могут потребоваться другие методы компенсации, позволяющие оптимально использовать энергию, получаемую от сети. Новые решения, предлагающие более эффективное применение СЭП, находятся на стадии рассмотрения, а некоторые из них — на стадии производственного процесса. Это активные силовые фильтры и СЭП, не создающие помех, включающие в себя средства управления компенсацией коэффициента мощности сети.

С.2.2.2 Активные фильтры

Принцип активной фильтрации заключается во включении между нагрузкой и источником энергии (электрической сетью) преобразователя, состоящего из силового преобразователя инверторного типа, который может компенсировать гармоники тока или напряжения. Когда активный фильтр включают параллельно нагрузке для генерирования гармонического тока в качестве противопоставления току, вырабатываемому нагрузкой, он рассматривается как параллельный или шунтовый активный фильтр. Если фильтр соединен с сетью последовательно, то он компенсирует гармоническое напряжение в точке соединения с нагрузкой. Основным преимуществом активных фильтров по сравнению с пассивными является их способность адаптироваться к изменениям сети и нагрузки.

При параллельных или последовательных соединениях возможно использовать фильтры с различной структурой. Использование активных фильтров вместе с пассивными компонентами позволило бы улучшить конструкцию и расширить потенциальное применение активных фильтров, в том числе при среднем напряжении. Кроме того, существует тенденция к снижению стоимости активных фильтров.

С.2.2.3 СЭП, не создающие помех

Новые виды сетевых преобразователей представляют собой альтернативу активным фильтрам. Такие одно- или трехфазные устройства заменяют диодные или тиристорные преобразователи. Они допускают компенсацию коэффициента мощности СЭП как посредством прохождения тока, полученного от сети, в фазе с напряжением сети, так и путем минимизации гармоник тока. Компоненты, используемые в этих преобразователях, стоят дороже, так как контролируют и включение, и выключение тока. Классическим видом таких преобразователей сети является преобразователь напряжения инверторного типа с использованием шести транзисторов. Системы силовых приводов, включая данный тип преобразователя сети для компенсации коэффициента мощности, называются чистыми или не излучающими помехи СЭП.

С.2.2.4 Применение

Стоимость перспективных систем компенсации реактивной мощности и гармонических токов является или может стать важной частью издержек от нелинейных нагрузок, которые они компенсируют (СЭП или другие применения). Это обстоятельство следует учитывать и в отношении капиталовложений, эксплуатации и технического обслуживания. Эксплуатация таких систем порождает затраты с возрастающими потерями, но позволяет снизить потребление реактивной мощности. Балансирование между затратами и преимуществами осуществляется с целью обеспечения ЭМС (то есть соответствия уровням ЭМС).

Использование общей, групповой или комбинированной компенсации может быть более доступным, чем применение пассивных мер, так как снижается опасность возникновения резонанса.

Следует также учитывать, что перспективные системы компенсации реактивной мощности и гармонических токов увеличивают число коммутирующих электронных силовых устройств, что может стать причиной увеличения высокочастотной электромагнитной эмиссии.

Идеальных решений не существует, и все эти элементы должны быть рассмотрены. Тем не менее при поиске решения конкретной задачи следует принимать во внимание конкретную обстановку. В частности, обстановку, относящуюся к общему классу, без уточненных данных об условиях производства в каждом конкретном случае.

Приложение D
(справочное)

Рассмотрение высокочастотных электромагнитных помех

D.1 Рекомендации для пользователя

D.1.1 Ожидаемая электромагнитная эмиссия от СЭП

D.1.1.1 СЭП и ее компоненты

Изготовители СЭП, применяемых в промышленных электрических сетях или в общественных сетях, из которых электрическая энергия не поступает в жилые здания, являются в целом технически компетентными и знакомыми с явлениями ЭМС.

При изготовлении компонентов СЭП с целью их продажи изготовители не могут применять методы помехоподавления с целью снижения уровня радиопомех, поскольку они не знают граничных условий обеспечения ЭМС конечной установки. Более того, пользователю компонентов следует самому, исходя из экономических соображений, принимать решения об использовании общих или групповых методов фильтрации и экранирования, применении естественного снижения помех при увеличении расстояния или распределенных дополнительных элементов в схеме существующей установки, чтобы обеспечить электромагнитную совместимость в каждом конкретном случае.

D.1.1.2 Кондуктивные радиопомехи

Методы и значения количественных оценок для достижения ЭМС подробно описаны в разделе требований настоящего стандарта. Важной характеристикой для пользователя СЭП без фильтрации при оценке возможных методов снижения радиопомех является уровень кондуктивных радиопомех в полосе частот от 150 кГц до 30 МГц, которые можно ожидать на портах электропитания СЭП.

Приведенные ниже результаты основаны на измерениях СЭП нескольких типов (относящихся к источнику напряжения или тока), проведенных в различных странах в период с 1990 по 1994 год. Для оценки уровней помех, которые можно ожидать на портах электропитания СЭП, полосу частот подразделяют на три части (CISPR 11: от 0,15—0,5 МГц; от 0,5—5,0 МГц и 5,0—30 МГц) и максимальный уровень помех каждой СЭП в каждой части полосы частот регистрируют как репрезентативный элемент этой части. Измерения проводят с использованием в основном пиковых детекторов. В диапазоне отклонений от среднего значения ±20 дБ V_{dist} (см. рисунок D.1) сосредоточено около 91 % результатов с учетом отклонений, возникающих при различных нагрузочных режимах (легкая и максимальная нагрузка), различных номинальных входных напряжениях (220 В; 400 В; 460 В; 660 В) и различной номинальной мощности (от 0,75 до 740 кВ · А).

В соответствии с физической основой создания кондуктивных помех средние пиковые показания можно аппроксимировать двумя прямыми линиями с наклоном 20 дБ/декада и 40 дБ/декада. Две линии, пересекающиеся на промежуточной частоте f_{trans} ≈ 2 МГц, в соответствии с [7] могут быть представлены формулами

$$\bar{U}_{dist}/\text{дБ (мкВ)} = 20 \log \frac{80\ \text{В} \cdot 10\ \text{кГц}}{\pi \cdot f \cdot 1\ \text{мкВ}},$$

если 100 кГц ≤ F ≤ F_{trans},

$$\bar{U}_{dist}/\text{дБ (мкВ)} = 20 \log \frac{80\ \text{В} \cdot 10\ \text{кГц} \cdot F_{trans}}{\pi \cdot f^2 \cdot 1\ \text{мкВ}},$$

если F_{trans} ≤ F ≤ 30 МГц.

Результаты измерений кондуктивных радиопомех представлены в пиковых значениях. В соответствии с [2] квазипиковое значение радиопомех меньше пикового значения и прогрессивно убывает при уменьшении частоты переключения силовых устройств. Для СЭП с частотой переключения от 200 Гц до 10 кГц квазипиковое значение в основном на 5—2 дБ ниже пикового значения. В тех случаях, когда результаты измерений были получены только как квазипиковые значения, это учитывалось при оценке (см. рисунок D.1).

В большинстве случаев оборудование функционирует без влияния помех, но способы снижения уровня помех (например, высокочастотная фильтрация) должны быть использованы вблизи радиоприемной или чувствительной аппаратуры, такой как средства измерений очень малых напряжений.

D.1.1.3 Излучаемые помехи

Измерения излучаемых помех детально не анализировались из-за отсутствия жалоб на помехи этого вида. Однако на рисунке D.2 показано, чего можно ожидать от оборудования. Оцененные результаты представляют собой измерения, откорректированные к пиковым значениям, полученным при расстоянии измерения 10 м от СЭП с применением или без применения способов снижения уровня излучаемых помех.

Распространение результатов измерений кондуктивных радиопомех, представленных на рисунке D.1, на полосу частот свыше 30 МГц представляет собой приближение, которое совместно с несколькими представленными значениями способно дать достаточно информации для объяснения отсутствия жалоб на излучаемые радио-

помехи. В соответствии с рисунком D.2 средние значения излучаемых радиопомех на частотах свыше 100 МГц часто проходят ниже предельных значений излучаемых помех, установленных в CISPR 11, даже без применения методов снижения уровня помех.

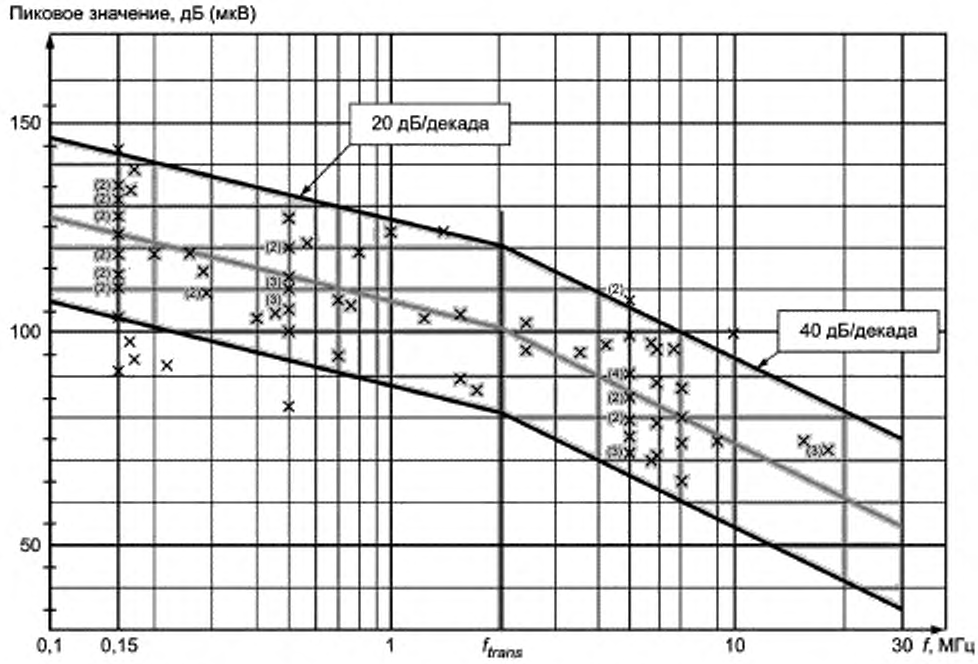


Рисунок D.1 — Кондуктивные помехи, создаваемые различными СЭП, не оборудованными фильтрами

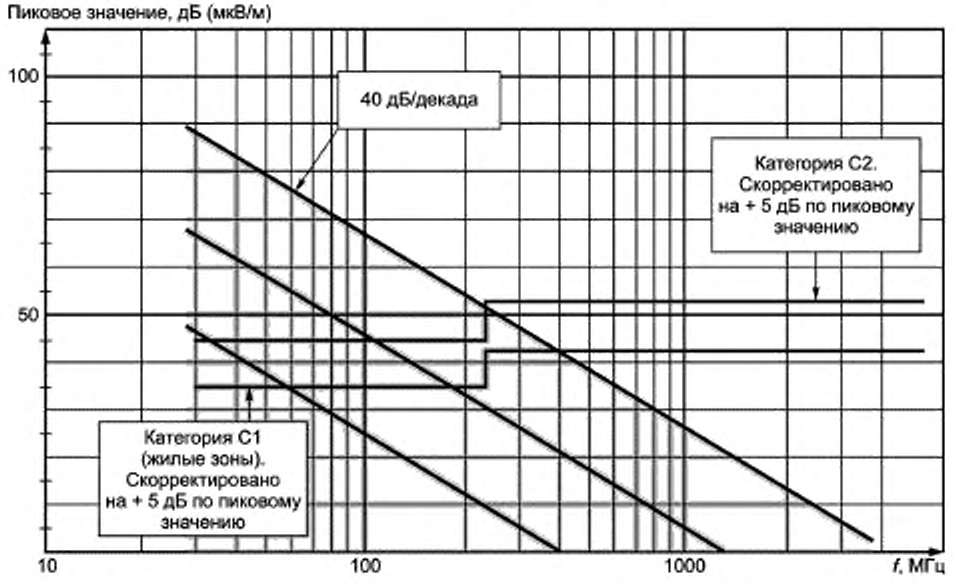


Рисунок D.2 — Ожидаемые уровни излучаемых радиопомех от СЭП с номинальным напряжением до 400 В. Пиковые значения, нормализованные к расстоянию 10 м

К излучаемым радиопомехам аналитический подход не применяют. Причина состоит в том, что основными источниками излучаемых радиопомех в большинстве случаев являются не силовые электронные схемы преобразователей, питающихся от сети, а микропроцессоры или некоторые вторичные источники питания оборудования.

D.1.1.4 Электромагнитная эмиссия от интерфейса электропитания

Электромагнитная эмиссия от интерфейса электропитания обусловлена в основном общим несимметричным напряжением. Общее несимметричное напряжение в интерфейсе электропитания может иметь высокое значение d*v*/d*t*. Это высокое значение d*v*/d*t* индуцирует ток в распределенной емкости кабеля и в электрической нагрузке (включающей в себя обмотки и арматуру двигателя). Распределенные токи возвращаются к их источнику через землю и через электрическую сеть либо через входные фильтры соответствующих преобразователей. Поэтому электромагнитная эмиссия от интерфейса электропитания связана с напряжением помех, измеряемым на порте электропитания.

D.1.2 Рекомендации

D.1.2.1 Низковольтная электрическая сеть общего пользования

Потенциальное воздействие помех, создаваемых СЭП, зависит от электромагнитной обстановки, в которой используется СЭП.

В некоторых странах малые коммерческие предприятия или предприятия легкой промышленности получают электрическую энергию от низковольтной сети общего пользования, от которой потребляют энергию также жилые дома. В этой системе отсутствует гальваническая изоляция между трехфазными входными терминалами СЭП и сетевыми розетками в жилых помещениях.

Если СЭП, не оборудованная фильтрами, непосредственно подсоединена к низковольтной сети электропитания общего применения, от которой потребляют энергию жилые здания, существует значительный риск помех радио- и телевизионному приему. В этой электромагнитной обстановке рекомендуется оборудовать фильтрами входные зажимы СЭП. Таким образом, пользователь должен выбрать СЭП, соответствующую нормам, установленным в 6.4.

D.1.2.2 Вторая электромагнитная обстановка

В промышленных зонах (но не в низковольтных общественных системах электроснабжения) общей практикой в течение многих лет было применение СЭП без фильтров. В основном они работали хорошо и не создавали радиопомех другому оборудованию. Это подтверждалось отсутствием жалоб на радиопомехи в отраслях промышленности. Следовательно, СЭП совместимы с другим оборудованием в отношении излучаемых радиопомех.

Существующие проблемы, как правило, связаны с кондуктивными помехами от ОМП/ПМП. Эти помехи распространяются вдоль кабелей питания двигателей и могут передаваться на другое оборудование за счет гальванической, индуктивной или емкостной связи или путем излучения.

Проблемы могут возникнуть, если СЭП без фильтров применяют вблизи особо чувствительного оборудования. Однако СЭП может оказаться не единственным источником помехи, и чувствительное оборудование имеет обычно более низкую номинальную мощность, чем СЭП. Следовательно, повышение помехоустойчивости чувствительного оборудования может стать более экономичным решением, чем фильтрация электромагнитной эмиссии от СЭП.

Проблемы с влиянием кондуктивных радиопомех, создаваемых СЭП, обычно предупреждают применением рекомендаций по монтажу СЭП, включая разнесение сигнальных и питающих кабелей. Если этого недостаточно, то следует повысить помехоустойчивость чувствительного оборудования либо уменьшить электромагнитную эмиссию от СЭП, в зависимости от того, какое решение более экономично.

Применение коммерчески доступного фильтра ЭМС в интерфейсе электропитания между ОМП/ПМП и двигателем может привести к возникновению проблем. Возможно также повреждение конденсаторов в фильтре из-за резких фронтов, возникающих при переключениях, на конце интерфейса, подключаемого к ОМП/ПМП.

Если для соединения между ОПМ/ПМП и двигателем применяют экранированный или армированный кабель без фильтрации входа ОПМ/ПМП, то кондуктивные помехи в сети увеличатся из-за емкостного сопротивления армированного кабеля. Следовательно, если для решения проблемы ЭМС применяют экранированный или армированный кабель между ОМП/ПМП и двигателем, то фильтр должен быть соединен со входом питающей сети ОМП/ПМП. При этом уменьшение до минимума длины кабеля двигателя способствует в целом уменьшению радиопомех, излучаемых этим кабелем.

Поскольку фильтрация вызывает проблемы в области безопасности в системе, изолированной от земли, единственным решением в этом случае будет обеспечение достаточной помехоустойчивости другого оборудования в этой обстановке. В этом случае для систем, в которых линия под напряжением соединена с землей (называемая в некоторых странах системой с заземленной вершиной треугольника), следует применять конденсаторы класса «Y» (линия — земля), которые должны быть рассчитаны для полного напряжения между фазами.

D.1.2.3 Категории С1 и С3

Изготовитель должен предоставить информацию, необходимую пользователю для выбора правильной категории оборудования в отношении электромагнитной эмиссии и правильной установки оборудования. Эта информация должна включать в себя четкие инструкции по монтажу любых фильтров. Если необходимы специальные кабели, то в инструкции должно быть соответствующее указание.

Монтажники оборудования часто применяют контроль изоляции для проверки качества электропроводки. Однако фильтры ЭМС обычно хуже выдерживают такой контроль, чем силовой преобразователь. Следовательно, изготовитель должен предоставить пользователю четкие инструкции по контролю изоляции.

Если СЭП не оборудована фильтрами или не соответствует нормам электромагнитных помех категории С1, изготовитель должен четко указать об этом в документации для пользователя. В этом случае изготовитель должен предупредить, что СЭП не предназначена для применения в низковольтной сети электропитания общего применения, из которой энергия поступает в жилые дома.

Если СЭП создает коммутационные провалы на входе, то это должно быть указано в эксплуатационной документации.

При возникновении проблем изготовитель должен предложить (за счет пользователя) решение, необходимое для соответствия СЭП более низкой категории в отношении электромагнитной эмиссии.

D.1.2.4 Категории С2 и С4

В таком случае потребитель должен обладать технической компетенцией, позволяющей применить правильную концепцию обеспечения ЭМС для установки. Изготовитель должен предоставить информацию о категории оборудования в отношении электромагнитной эмиссии.

В этом случае пользователь сможет выбрать правильную комбинацию категории оборудования в отношении электромагнитной эмиссии и мер по снижению радиопомех, чтобы обеспечить наиболее экономичное решение.

D.2 Безопасность и применение радиочастотных помехоподавляющих фильтров в системах электроснабжения

D.2.1 Безопасность и токи утечки

Применение фильтрации радиопомех в системах электроснабжения для обеспечения соответствия нормам электромагнитных помех хорошо известно в практике конструирования. При применении фильтров важно проверить, что значения емкостей и, следовательно, содержание энергии, а также эффективность в целом конденсаторов типа «Y», используемых в фильтрах, соответствуют нормативным требованиям стандартов безопасности, например IEC 60065 в случае аппаратов, включаемых в сеть с помощью штепсельной вилки. Если ток утечки на землю через конденсатор радиочастотного помехоподавляющего фильтра слишком велик, эффективность дифференциальной защиты (от коротких замыканий на землю) в данной системе электроснабжения может быть нарушена.

Требования безопасности, связанные с токами утечки, включая требования к предупреждению пользователей, установлены в IEC 61800-5-1.

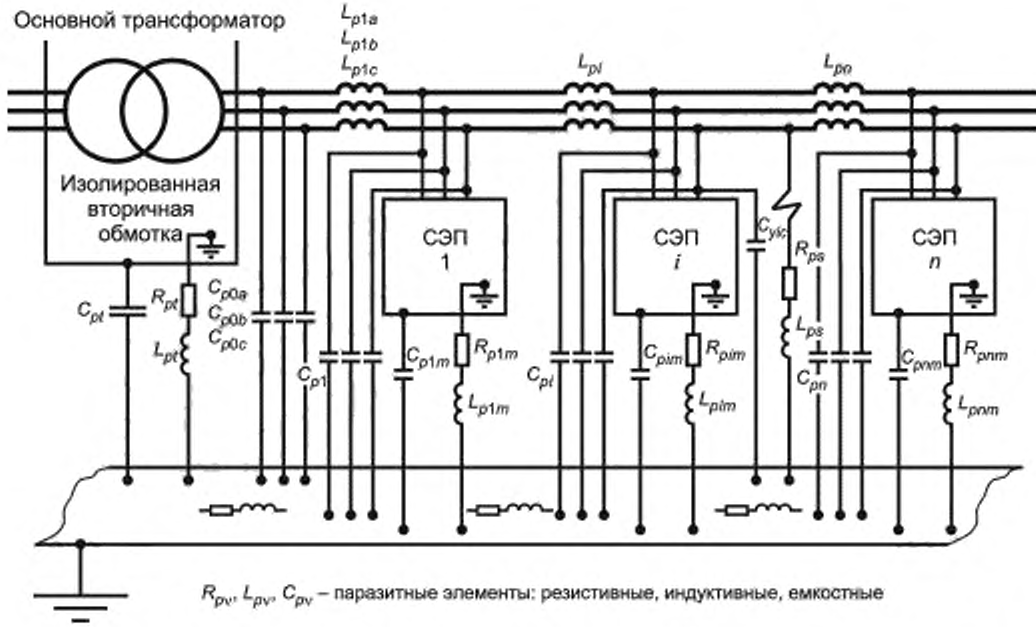
D.2.2 Безопасность и применение радиочастотных помехоподавляющих фильтров в системах электроснабжения, изолированных от земли

В сложных производствах, включающих в себя применение прокатных станов или бумагоделательных машин, центробежного и вспомогательного оборудования сахарной отрасли, кранового оборудования или оборудования химической промышленности, эффективно применяют распределенные изолированные системы электроснабжения. В таких системах электроснабжения необходимо обеспечить возможность продолжения работы оборудования, несмотря на короткие замыкания на землю, возможные прежде всего при применении оборудования вне зданий при повышенной влажности воздуха. Короткое замыкание на землю обнаруживают с помощью «системы мониторинга короткого замыкания» на землю, что обеспечивает безопасное продолжение работы оборудования до следующего цикла его технического обслуживания.

«Философия безопасности процесса» в промышленных установках может быть нарушена из-за наличия паразитных элементов в электропроводке и оборудовании, как показано на рисунке D.3, например, емкостей C_{pv} между электрической сетью и землей. Результирующее емкостное сопротивление определяется суммой всех конденсаторов типа Y и паразитных емкостей. Сумма емкостей всех C_{pv} может достигать нескольких микрофарад. Любая система помехоподавляющих радиочастотных фильтров будет увеличивать емкость по отношению к земле до очень высокого значения, поскольку используется большое число конденсаторов типа Y (например, до значения, в n раз превышающего C_y). С увеличением емкостной связи будет все труднее и труднее и, наконец, невозможно обнаружить короткое замыкание на землю.

При наличии устройств фильтрации радиопомех (C_y) любое короткое замыкание на землю вызывает протекание очень высокого тока через полупроводниковые переключающие приборы внутри системы электрического привода. Это соответствует условиям короткого замыкания в заземленной сети при появлении любой неисправности, что приводит к срабатыванию и расцеплению защитных электронных устройств и, наконец, к нежелательной остановке работы с непредсказуемыми экономическими последствиями.

По этим причинам фильтрация радиопомех несовместима с изолированными системами энергоснабжения промышленных установок и поэтому не рассматривается в примерах, приведенных в настоящем стандарте. Кроме того, фильтрация радиопомех не может быть эффективной в этих системах. Это обусловлено тем, что обратный канал тока помехи к источнику помехи в системе, изолированной от земли, является только емкостным. Его будет трудно определить или рассчитать из-за резонансов с паразитными индуктивностями L_{pv}. Наконец, возрастание токов помехи, протекающих через несколько C_y, может привести к проблемам взаимного влияния с другим оборудованием, подключенным к той же системе электроснабжения.



Несколько СЭП совместно функционируют вместе в сложном процессе при распределенном изолированном энергоснабжении.

Рисунок D.3 — Безопасность и применение фильтров

Приложение Е
(справочное)

Анализ электромагнитной совместимости и план ЭМС

Е.1 Общие положения. Системный анализ ЭМС, применимый к СЭП

Е.1.1 Электромагнитная обстановка

Е.1.1.1 Общие положения

На основе классификации применения СЭП по назначению (см. 3.2) могут быть получены более детализированные и пригодные для применения определения, относящиеся к электромагнитной обстановке. Для описания электромагнитной обстановки могут быть использованы различные подходы. Следует определить общие характеристики электромагнитной обстановки, на которых могут основываться уровни ЭМС. Если необходимо достичь ЭМС систем, то характеристики помехоустойчивости следует рассматривать совместно с правилами эксплуатации установки, ее конструкцией, физическим разделением, фильтрованием и экранированием.

В соответствии с типами СЭП могут быть определены особые классы электромагнитной обстановки.

Е.1.1.2 Общее моделирование

Система состоит из нескольких подсистем. Имеющиеся устройства (подсистемы) могут обладать двумя свойствами, относящимися к ЭМС: электромагнитной эмиссией и устойчивостью к электромагнитным помехам (см. рисунок Е.1).

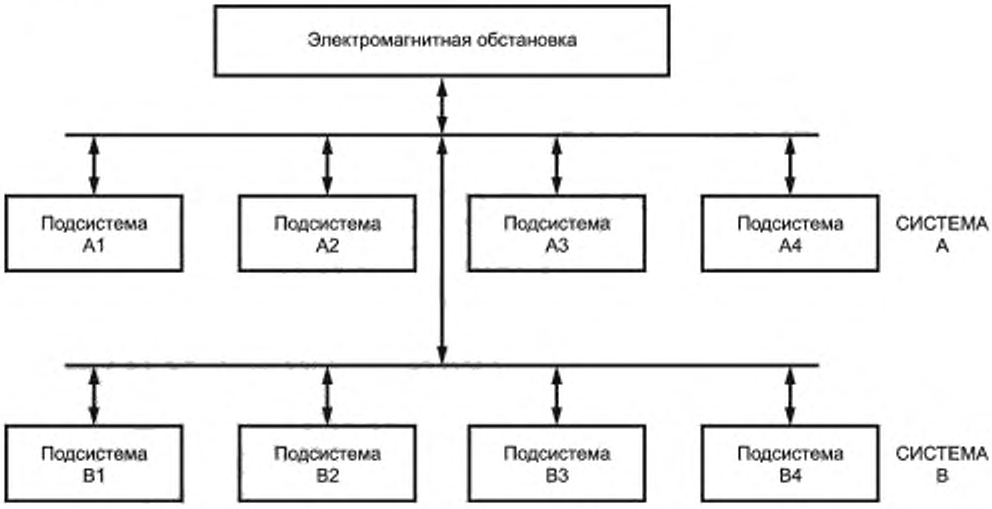


Рисунок Е.1 — Взаимодействие между системами и электромагнитной обстановкой

Электромагнитную обстановку определяют устройства, обладающие свойством электромагнитной эмиссии. Электромагнитная эмиссия может достигать восприимчивого устройства через различные виды связи. Общие взаимодействия определяются между подсистемами i и j и подсистемой i и электромагнитной обстановкой. Эти взаимодействия осуществляются с использованием различных видов связи [связь через общее полное сопротивление, связь по индукции и излучению (таблица Е.1)].

Эта модель взаимодействия между системами и электромагнитной обстановкой помогает выявлять различные проблемы ЭМС и определять необходимые предельные значения. Некоторые примеры применения модели взаимодействия приведены на рисунке Е.1 и в таблице Е.1.

Е.1.2 Методы системного анализа ЭМС

Е.1.2.1 Понятие «зона»

Задачи системного анализа ЭМС должны решаться с использованием знаний о характеристиках сигнала в каждой подсистеме, уровнях помехоустойчивости критических цепей, проведенных конструктивных испытаниях и на основе рассмотрения существующей электромагнитной обстановки. При необходимости должны разрабатываться модели источников сигналов (передатчиков), приемников, антенн, сред распространения и путей связи. Целью системного анализа ЭМС является содействие в разработке конструктивных требований и процедур, обеспечивающих соответствие системы электрического привода требованиям ЭМС.

Понятие «зона» для СЭП определяют на основании реальной электромагнитной обстановки и восприимчивости подсистем и оборудования. Перед каждым испытанием на ЭМС для каждой зоны должны устанавливаться особые критерии приемки. Эти критерии должны определять процедуру, используемую для оценки качества функционирования СЭП во время испытаний на помехоустойчивость и для выявления неисправностей или отклонений от технических требований. Критерии приемки для отдельной подсистемы (или оборудования) должны быть включены в применяемую процедуру испытания ЭМС. Понятие «зона» отображено на рисунке Е.2.

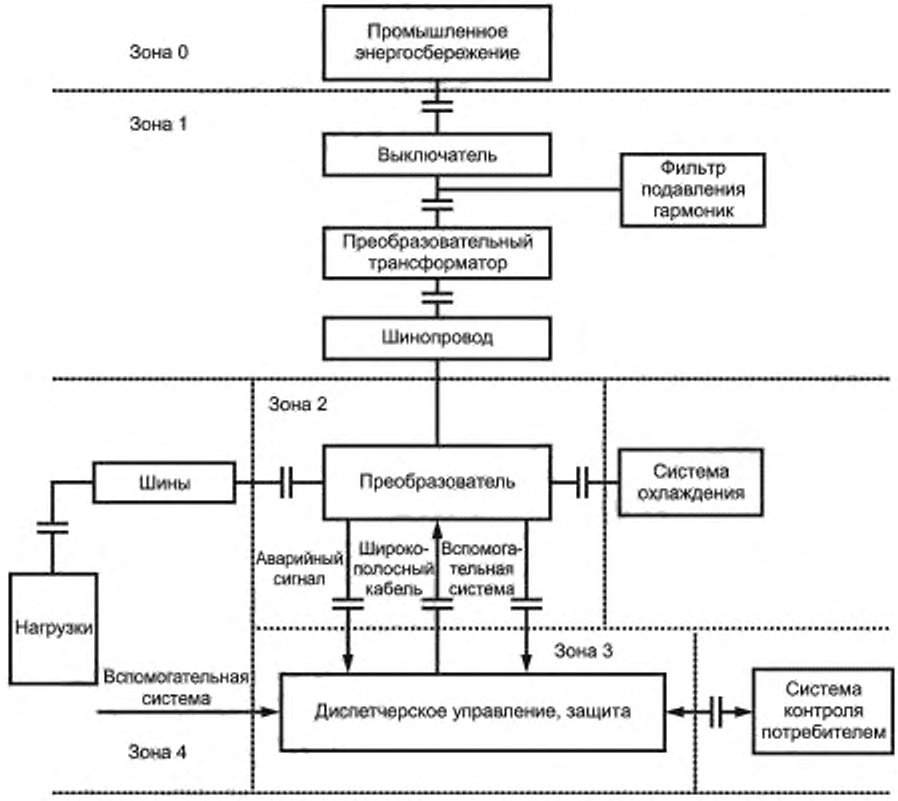


Рисунок Е.2 — Понятие «зона»

Е.1.2.2 Интерфейсы

В таблице Е.1 приведены примеры силовых интерфейсов между подсистемами СЭП (как показано на рисунке Е.3) и виды интерфейсов (кондуктивное электромагнитное взаимодействие, электромагнитное взаимодействие через излучение).

Таблица Е.1 — Электромагнитное взаимодействие между подсистемами и электромагнитной обстановкой

Подсистема как источник электромагнитных помех	Подсистема как восприимчивое устройство				
	Электромагнитная обстановка	Трансформатор	Преобразователь	Кабель	Двигатель
Электромагнитная обстановка	N/A	CI	CI Rad.	CI	CI
Трансформатор	CI E, H, Rad.	N/A	CI	N/A	N/A
Преобразователь	CI Rad.	CI	N/A	CI	N/A

Окончание таблицы Е.1

Подсистема как источник электромагнитных помех	Подсистема как восприимчивое устройство				
	Электромагнитная обстановка	Трансформатор	Преобразователь	Кабель	Двигатель
Кабель	CI Rad.	Rad.	CI Rad.	N/A	CI
Двигатель	Rad.	N/A	CI	CI	N/A

Примечание — Обозначения путей связи: - связь через общее полное сопротивление CI: связь через резистивное и реактивное сопротивление N/A: не применимо	- связь по индукции E: связь через электрическое поле H: связь через магнитное поле Rad.: связь через излучение



Рисунок Е.3 — Пример электрического привода

Е.1.2.3 Оборудование

Должны быть определены электромагнитные характеристики каждого образца оборудования (в части электромагнитной эмиссии и устойчивости к электромагнитным помехам) и зоны, к которым относятся эти электромагнитные характеристики.

В случаях, если требуется разработка плана ЭМС в соответствии с 6.5.1, применяют форму, представленную ниже.

Примечание — Этот план основан на требованиях IEC 61000-5-1.

План ЭМС разрабатывают применительно к использованию СЭП в конкретной установке. Цель разработки плана — проведение анализа ЭМС на уровне установки. На основе анализа ЭМС должны быть определены мероприятия, обеспечивающие электромагнитную совместимость.

Е.2 Пример плана ЭМС для общих применений

Е.2.1 Сведения и описания, относящиеся к проектированию

План ЭМС в соответствии с 6.5.1 содержит соглашение и отражает обмен техническими сведениями между изготовителем и пользователем. Поэтому следует определить ответственность каждой из трех сторон: изготовителя СЭП, монтажной организации (монтажника) и пользователя. План ЭМС должен разрабатываться совместно этими тремя сторонами. Все вопросы, не относящиеся к конкретному применению СЭП, могут быть исключены.

План ЭМС подразделяют на две части:

- вопросы, по которым обычно следует достичь соглашения, указаны в Е.2.

- дополнительные вопросы, соглашение по которым может быть необходимым при определенных применениях, указаны в Е.3.

Примечание — Если требование не применимо, следует использовать обозначение «Не применимо» (N/A). В этом случае необходимо дополнительно включить объяснение.

Ниже представлен перечень вопросов и ответов, которые могут быть применены при разработке плана ЭМС.

Наименование изготовителя/поставщика

Наименование конечного пользователя

Распоряжение № .... Дата

Вид предприятия (например, химический завод, бумагоделательная машина)

Применение (например, насос, вентилятор, конвейер) ....

Лицо(лица), ответственное(ые) за обеспечение ЭМС .....

Е.2.2 Анализ электромагнитной обстановки

Е.2.2.1 Сведения о предприятии

Место размещения установки

Описание окружения установки (дополнительно при размещении СЭП во второй электромагнитной обстановке)

Первая электромагнитная обстановка Вторая электромагнитная обстановка

Расстояния от здания/помещения, в котором размещена СЭП, до источников помех в первой электромагнитной обстановке……, м

Расстояния от здания/помещения, в котором размещена СЭП, до других предприятий во второй электромагнитной обстановке……, м

Конструкция здания и помещения

Вид конструкции (дерево, кирпич, бетон, сталь, алюминий и т. д.) .....

Армирование (сталь и т. д.) Да ..... Нет .....

Наличие специального помещения для системы Да ..... Нет .....

Расположение помещения

Схема помещения с соблюдением масштаба. Отображение всех основных деталей: окон, дверей и т. д.

Е.2.2.2 Сведения об электропитании и заземлении

Распределение электрической энергии

Система распределения электрической энергии для СЭП:

идентификация точки присоединения (идентификационные номера распределительной панели, коммутационного устройства или трансформатора) .....

Тип распределительной системы (например, TN-C, TN-S; TT, IT)

Тип электропитания СЭП:

Звезда…. Треугольник…... Число фаз…… Число проводов…….

Шина заземления: способ и место соединения? .....

Схема электропроводки

Однолинейная схема системы электроснабжения на месте эксплуатации от силового трансформатора до СЭП. Отображение всех трансформаторов, распределительных панелей и т. д. Также указывается номинальное напряжение, номинальная мощность, применяемые кабели и их прокладка, число проводников и приблизительная длина кабелей/шинопроводов.

Е.2.2.3 Сведения, относящиеся к ЭМС

Заземление СЭП

Наличие опорного заземления СЭП? ..... Одноточечное ..... Смешанное .....

Схема эквипотенциального соединения СЭП.

Экранирование СЭП

Применение экранированных корпусов для ПМП/ОМП? Да ..... Нет .....

Описание:

Использование экранированных кабелей? Да ..... Нет .....

Описание:

Использование других мер (например, контейнеров)? Да ..... Нет .....

Описание (включая двигатели и кабели):

Восприимчивое к радиочастотным помехам оборудование на предприятии

Любое оборудование в здании или поблизости от установки, восприимчивое к радиочастотным помехам?

Да ..... Нет

Описание: (Например, устройств управления и измерения, шин передачи данных, компьютеров и т. п.)

Приблизительное расстояние от СЭП/кабелей СЭП: ..... метров

Наиболее вероятный путь движения электромагнитной помехи: по проводнику ..... в виде излучения .....

Восприимчивое к радиочастотным помехам оборудование вне предприятия

Любые приемные антенны радиовещания или радиосвязи в прямой видимости или вблизи предприятия?

Да ..... Нет

Описание (например, антенна радара, радиотелевизионного вещания, радиолюбительская микроволновая и др.):

Частота ..... Расстояние от антенны ..... метры

Аппаратура диапазона частот гражданского назначения, переносные радиостанции, беспроводные средства связи, пульты дистанционного управления или система синхронизации часов используется на предприятии?

Да ..... Нет

Описание:

Е.2.3 Анализ ЭМС

Е.2.3.1 Идентификация наиболее восприимчивого оборудования и систем:

Анализ электромагнитной обстановки, внешней по отношению к установке.

Е.2.3.2 Идентификация частей СЭП, потенциально способных создать помехи:

Анализ электромагнитной обстановки, внешней по отношению к установке.

Е.2.3.3 Риски нарушения функционирования частей, перечисленных в а), из-за помех от СЭП?

Да ..... Нет

Описание:

Е.2.4 Разработка правил монтажа

Е.2.4.1 Заземление

Учет рекомендаций, указанных изготовителем СЭП, при определении правил монтажа. Чтобы обеспечить эффективность заземления в части ЭМС, необходимо оценить следующие аспекты:

- система заземления СЭП (одноточечная, смешанная);
- эквипотенциальные соединения:
- проводящих частей, подвергающихся воздействию помех;
- подключение металлических структур СЭП к системе заземления;
- обеспечение качества высокочастотных соединений;
- использование крепежных устройств при соединениях «металл — металл»;
- где необходимо удаление краски и иных изолирующих материалов;
- описание решений по обеспечению ЭМС.

Е.2.4.2 Кабели и проводка

Е.2.4.2.1 Выбор кабелей

Учет рекомендаций, указанных изготовителем СЭП, при определении правил монтажа. Чтобы обеспечить эффективность кабелей в части ЭМС, необходимо оценить следующие аспекты:

- вид сигналов (например, цифровые данные, ШИМ двигателя и т. д.);
- наличие неиспользуемых проводников;
- типы кабелей и вид экранирования (при наличии);
- описание решений по обеспечению ЭМС.

Е.2.4.2.2 Трассировка линий

Учет рекомендаций, указанных изготовителем СЭП, при определении правил монтажа. Чтобы обеспечить эффективность прокладки кабелей в части ЭМС, необходимо оценить следующие аспекты:

- разделение кабелей высокой мощности, маломощных кабелей или сигнальных кабелей;
- минимизация длин параллельно проложенных кабелей;
- разделение кабелей разных длин;
- прямоугольные пересечения кабелей;
- использование кабелепроводов и кабельных желобов в качестве параллельных заземляющих проводников;
- расположение кабелей в кабельных желобах;
- заземление кабельных желобов;
- описание решений по обеспечению ЭМС.

Е.2.4.3 Экранирование корпусов СЭП

Учет рекомендаций, указанных изготовителем СЭП, при определении правил монтажа. Чтобы обеспечить эффективность экранирования в части ЭМС, необходимо оценить следующие аспекты:

- непрерывность металлических корпусов;
- размеры щелей и отверстий;
- ввод кабелей через пластину опорного заземления;
- присоединение экранов кабелей к опорному заземлению (предпочтительно по окружности);
- описание решений по обеспечению ЭМС.

Е.2.4.4 Отдельный трансформатор

Учет рекомендаций, указанных изготовителем СЭП, при определении правил монтажа. Чтобы обеспечить эффективность в части ЭМС, необходимо оценить следующие аспекты:

- применение отдельного изолирующего трансформатора;
- наличие электростатического экрана в трансформаторе;
- описание трансформатора (размеры, размещение).

Е.2.4.5 Фильтрация

Учет рекомендаций, указанных изготовителем СЭП, при определении правил монтажа. Чтобы обеспечить эффективность в части ЭМС, необходимо оценить следующие аспекты:

- централизованная или распределенная конфигурация фильтров для подавления высокочастотных помех;

- применение фильтров в сигнальных линиях;
- применение фильтров в интерфейсах электропитания (при возможности);
- описание (решений по обеспечению ЭМС).

Е.2.4.6 Дополнительные методы помехоподавления

Учет рекомендаций, указанных изготовителем СЭП, при определении правил монтажа. Требуются другие методы помехоподавления? Да Нет

Рассмотрение возможности:

- электрического разделения цепей;
- применения оптических кабелей;
- гальванической изоляции линий передачи данных (например, применением электронно-оптических устройств, трансформаторов);
- повышения защищенности восприимчивых устройств;
- описание решений по обеспечению ЭМС.

Е.2.5 Формальные результаты и техническое содержание установки

Проверка соответствия монтажа установки выработанным правилам.

Все детали монтажа соответствуют выработанным правилам? Да Нет

Описание действий по корректировке неисправностей.

Подготовка инструкций по поддержанию характеристик ЭМС установки (например, по исключению коррозии, влияния пыли на качество контактов, механического ослабления контактов и т. д.).

Подписи лица(лиц), ответственного(ых) за обеспечение ЭМС:

Дата

Подпись (подписи).

Е.3 Пример дополнения к плану ЭМС для конкретного применения

Е.3.1 Дополнительный анализ электромагнитной обстановки

Е.3.1.1 Распределение электрической энергии от подстанции поставщика энергии к основному питающему трансформатору предприятия

Вопросы, рассматриваемые в Е.3, связаны с факторами, внешними по отношению к СЭП, которые могут оказывать влияние на характеристики ЭМС при более сложных применениях.

Поставщик электрической энергии:

Расстояние от ближайшей подстанции (если известно):

Порядок распределения энергии от подстанции:

воздушные линии подземные комбинированные

описание

Характеристики главного трансформатора предприятия: кВ·А

входная (первичная обмотка): вольты количество фаз

тип соединения: треугольник звезда

другие, описание

Выходы для внутреннего распределения энергии (вторичная обмотка)

вольты количество проводов количество фаз

Тип соединения: треугольник звезда

Трансформатор заземлен? (описание, как и где)

Конструкция заземляющего электрода здания

Одиночный заземляющий электрод | Несколько заземляющих электродов | Сетевая заземляющая конструкция | Пластина заземления

Подземные трубопроводы | Трубы водоснабжения | Стальной каркас здания

При наличии других, описание

Схемы электропроводки

Однолинейная схема проводки системы электроснабжения установки от подстанции поставщика энергии до основного питающего трансформатора предприятия (с отображением всех трансформаторов, панелей управления и т. д.).

Сопротивление заземляющего электрода, Ом (если известно)

Е.3.1.2 Распределение электрической энергии от основного питающего трансформатора предприятия до местной распределительной панели/коммутирующего устройства/трансформатора СЭП

Вопросы, рассматриваемые в Е.3, связаны с факторами, внешними по отношению к СЭП, которые могут оказывать влияние на характеристики ЭМС при более сложных применениях.

Схемы электропроводки

Однолинейная схема распределительной системы электроснабжения установки от основного питающего трансформатора до местной распределительной панели/коммутирующего устройства/ трансформатора.

Сведения о местной распределительной панели/коммутирующем устройстве/трансформаторе

Идентификация распределительной панели/коммутирующего устройства/трансформатора

Конструкция панели, как и где осуществляется эквипотенциальное соединение

Тип источника питания для распределительной панели/коммутирующего устройства/трансформатора

Звезда Треугольник Количество фаз

Количество проводов Размеры проводов (фазных, нейтрального, защитного): Cu Al

Нейтральный шинопровод: как и где осуществляется эквипотенциальное соединение.

Заземляющий шинопровод: как и где осуществляется эквипотенциальное соединение.

Наличие отдельных неизолированных проводников защитного заземления от СЭП или частей СЭП.

Да Нет

Описание

Е.3.2 Анализ ЭМС

Е.3.2.1 Частотный план

Необходимо обеспечить защиту от влияния радиочастотных помех?

Да Нет

Пояснения

Если необходимо обеспечить защиту, то для анализа обстановки следует разработать частотный план. Пример приведен в таблице Е.2.

Таблица Е.2 — Частотный анализ

Оборудование	Блок	Частота	Полоса частот	Описание источника помех	Напряжение, В	Ток, А	Форма волны	Вид		Ref. doc.
								Em	Im	
Инвертор № 1	Модуль IGBT	5 кГц		Выходная частота коммутации	510		ШИМ	X		
Инвертор № 2	Модуль IGBT	5 кГц		Выходная частота коммутации	510		ШИМ	X		
Инвертор № 1	Блок управления двигателем	40 МГц		ТТЛ тактовый генератор	15		ТТЛ тактовый генератор	X		
Инвертор № 2	Блок управления двигателем	40 МГц		ТТЛ тактовый генератор	15		ТТЛ тактовый генератор	X		
Инверторы	Датчик выходного тока	1 кГц		Частота отсчетов	0,03				X	
Вспомогательное оборудование	Источник питания	200 кГц		Частота коммутации	230		Импульс	X		
Беспроводные телефоны									X	
Служебные радиостанции	Приемо-передатчик							X	X	
Любительские радиостанции	Приемо-передатчик	144 МГц							X	

Em — эмиссия;
Im — устойчивость;
Ref. doc — ссылочный документ, устанавливающий требования к оборудованию.

Должен быть проведен анализ рисков нарушения функционирования перечисленного выше оборудования при воздействии помех от СЭП, с определением необходимых мероприятий по обеспечению помехоустойчивости.

Е.3.2.2 Испытания в области ЭМС

Перечень ссылок на протоколы проведенных испытаний в области ЭМС.

Необходимы ли дополнительные специальные испытания в области ЭМС?

Да Нет

Если да, могут быть необходимы следующие процедуры:

- подготовка плана ЭМС (проведение анализа ЭМС);
- проведение испытаний в области ЭМС и подготовка протоколов испытаний.

Являются ли результаты испытаний приемлемыми?

Да Нет

Описание действий по корректировке неисправностей:

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC 60050-131:2002	—	*
IEC 60050-151:2001	IDT	ГОСТ IEC 60050-151—2014 «Международный электротехнический словарь. Глава 151. Электрические и магнитные устройства»
IEC 60050-161:1990	IDT	ГОСТ 30372—2017 «Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения»
IEC 60146-1-1:1991	—	*
IEC 60364-1:2001	MOD	ГОСТ 30331.1—2013 «Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения»
IEC 60664-1:1992	IDT	ГОСТ Р МЭК 60664.1—2012 «Координация изоляции для оборудования в низковольтных системах. Часть 1. Принципы, требования и испытания»
IEC 61000-1-1	—	*
IEC/TR 61000-2-1:1990	—	*
IEC 61000-2-2:2002	—	*
IEC 61000-2-4:2002	MOD	ГОСТ Р 51317.2.4—2000 «Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Уровни электромагнитной совместимости для низкочастотных кондуктивных помех в системах электроснабжения промышленных предприятий»
IEC/TR3 61000-2-6:1995	—	*
IEC 61000-3-2:2014	IDT	ГОСТ IEC 61000-3-2—2017 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-2. Нормы. Нормы эмиссии гармонических составляющих тока (оборудование с входным током не более 16 А в одной фазе)»
IEC 61000-3-3:2013	IDT	ГОСТ IEC 61000-3-3—2015 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-3. Нормы. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в общественных низковольтных системах электроснабжения для оборудования с номинальным током не более 16 А (в одной фазе), подключаемого к сети электропитания без особых условий»
IEC/TS 61000-3-4:1998	MOD	ГОСТ Р 51317.3.4—2006 «Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение эмиссии гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током более 16 А, подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения. Нормы и методы испытаний»
IEC 61000-3-11:2000	MOD	ГОСТ 30804.3.11—2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в низковольтных системах электроснабжения общего назначения. Технические средства с потребляемым током не более 75 А, подключаемые к электрической сети при определенных условиях. Нормы и методы испытаний»

Продолжение таблицы ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC 61000-4-2:2008	MOD	ГОСТ 30804.4-2—2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний»
IEC 61000-4-3:2010	IDT	ГОСТ IEC 61000-4-3—2016 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-3. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю»
IEC 61000-4-4:2012	IDT	ГОСТ IEC 61000-4-4—2016 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-4. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к электрическим быстрым переходным процессам (пачкам)»
IEC 61000-4-5:2014	IDT	ГОСТ IEC 61000-4-5—2017 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-5. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к выбросу напряжения»
IEC 61000-4-6:2013	MOD	ГОСТ Р 51317.4-6—99 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний»
IEC 61000-4-8:2009	IDT	ГОСТ IEC 61000-4-8—2013 «Электромагнитная совместимость. Часть 4-8. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к магнитному полю промышленной частоты»
IEC 61000-4-11:2004	IDT	ГОСТ 30804.4-11—2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний»
IEC 61000-4-13:2009	IDT	ГОСТ IEC 61000-4-13—2016 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-13. Методы испытаний и измерений. Воздействие гармоник и интергармоник, включая сигналы, передаваемые по электрическим сетям, на порт электропитания переменного тока. Низкочастотные испытания на помехоустойчивость»
IEC 61000-4-34:2009	IDT	ГОСТ IEC 61000-4-34—2016 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-34. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания оборудования с потребляемым током более 16 А на фазу»
IEC 61800-1:1997	IDT	ГОСТ Р МЭК 61800-1—2012 «Системы силовых электроприводов с регулируемой скоростью. Часть 1. Общие требования. Номинальные технические характеристики низковольтных систем электроприводов постоянного тока с регулируемой скоростью»
IEC 61800-2:1998	IDT	ГОСТ Р МЭК 61800-2—2012 «Системы силовых электроприводов с регулируемой скоростью. Часть 2. Общие требования. Номинальные технические характеристики низковольтных систем силовых электроприводов переменного тока с регулируемой частотой»
IEC 61800-4:2002	IDT	ГОСТ Р МЭК 61800-4—2012 «Системы силовых электроприводов с регулируемой скоростью. Часть 4. Общие требования. Номинальные технические характеристики систем силовых приводов переменного тока свыше 1000 В и не более 35 кВ»

Окончание таблицы ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
CISPR 11:2003	IDT	ГОСТ CISPR 11—2017 «Электромагнитная совместимость. Оборудование промышленное, научное и медицинское. Характеристики радиочастотных помех. Нормы и методы испытаний»
CISPR 14-1	MOD	ГОСТ 30805.14-1—2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Бытовые приборы, электрические инструменты и аналогичные устройства. Радиопомехи индустриальные. Нормы и методы измерений»
CISPR 14-2	IDT	ГОСТ CISPR 14-2—2016 «Электромагнитная совместимость. Требования для бытовых приборов, электрических инструментов и аналогичных аппаратов. Часть 2. Помехоустойчивость. Стандарт для группы однородной продукции»
CISPR 16-1:2002	IDT	ГОСТ CISPR 16-1-1—2016 «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 1-1. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерительная аппаратура»
CISPR 16-1-2	IDT	ГОСТ CISPR 16-1-2—2016 «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 1-2. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Устройства связи для измерений кондуктивных помех»
CISPR 16-1-3	MOD	ГОСТ 30805.16.1-3—2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-3. Аппаратура для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости. Устройства для измерения мощности радиопомех»
CISPR 16-1-4	IDT	ГОСТ CISPR 16-1-4—2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-4. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Антенны и испытательные площадки для измерения излучаемых помех»
CISPR 22:2008	MOD	ГОСТ 30805.22—2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование информационных технологий. Радиопомехи индустриальные. Нормы и методы измерений»

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты.

Библиография

[1] ENEL (Italian Electricity Supply Industry) Specification GLI (EMC) 07, Appendix A

[2] T. Williams: «EMC for Product Designers» — Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1992

[3] IEC 61000-4-3:1995 Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4. Testing and measurement techniques. Section 3. Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test (Annex A)
(Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4. Методы испытаний и измерений. Раздел 3. Испытание на устойчивость к радиочастотным электромагнитным полям [приложение А])

[4] Post Verfugung. Amtsbl Vfg 1045 — December 1984 Anlage 1 — § 2, Nr 4 «... for installations, or for components which are parts of an installation, no mark of built-in radio-interference suppression is required, but that the customer attention shall be drawn to the aspect, that for the final installation mitigation measures could be necessary...»

[5] Post Verfugung Amtsbl Vfg 1046-1984 Anlage 1, § 6 & § 7

[6] Regulations of documents mentioned in the references [4] and [5] are harmonized with the electrotechnical standard VDE 0875

[7] W. Graupner; Rolle, S.: «Funkstorspannungen leistungselektronischer Antriebe» Symposium der Gesellschaft fur Mikroelektronik GME des VDI, Frankfurt 1993

China	«Provisional Regulation for Harmonics in Electricity Distribution Systems.» SD 126-84
Germany	«Grundsatze fur die Beurteilung von Netzruckwirkungen.» VDEW 1992
Switzerland	«Limitation des Perturbations Electriques dans les Reseaux Publics de distribution. ASE 3600-1-1987 et ASE 3600-1987/SNV4 3600-1 et-2
United-Kingdom	«Planning levels for harmonic voltage distortion and the connection of nonlinear equipment to transmission systems and distribution networks in the United Kingdom» G5/4 February 2001 from Electricity Association
USA	«IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.» IEEE 519-1992
IEC 60038:1983	IEC standard voltages (Стандартные напряжения, рекомендуемые IEC)
IEC 60050(101):1998	International Electrotechnical Vocabulary (IEV). Part 101: Mathematics (Международный электротехнический словарь. Часть 101. Математика)
IEC 60050(551):1998	International Electrotechnical Vocabulary (IEV). Chapter 551. Power electronics (Международный электротехнический словарь. Часть 551. Силовая электроника)
IEC 60050-551-20:2001	International Electrotechnical Vocabulary (IEV). Part 551-20: Power electronics. Harmonic analysis (Международный электротехнический словарь. Часть 551-20. Силовая электроника. Анализ гармоник)
IEC 60050-604:1987	International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 604. Generation, transmission and distribution of electricity. Operation (Международный электротехнический словарь. Глава 604. Производство, передача и распределение электрической энергии. Эксплуатация)
IEC 60146-1-2:1991	Semiconductor convertors. General requirements and line commutated convertors. Part 1-2: Application guide (Преобразователи полупроводниковые. Общие требования к преобразователям с линейной коммутацией. Часть 1-2. Руководство по применению)
IEC 60146-1-3:1991	Semiconductor convertors. General requirements and line commutated convertors. Part 1-3: Transformers and reactors (Преобразователи полупроводниковые. Общие требования к преобразователям с линейной коммутацией. Часть 1-3. Трансформаторы и катушки индуктивности)
IEC 60146-2:1999	Semiconductor convertors. General requirements and line commutated convertors. Part 2: Self-commutated semiconductor converters including direct d.c. converters (Преобразователи полупроводниковые. Часть 2. Сообщающиеся полупроводниковые преобразователи, включая прямые преобразователи постоянного тока)
IEC 61000-2-3:1992	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 2: Environment. Section 3. Description of the environment. Radiated and non-network-frequency-related conducted phenomena (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 2. Условия окружающей среды. Раздел 3. Описание окружающей среды. Излучаемые и связанные с несетевой частотой кондуктивные явления)
IEC 61000-2-5:1995	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 2: Environment. Section 5. Classification of electromagnetic environments (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 2. Раздел 5. Классификация уровней электромагнитной среды. Основная публикация по EMC)

IEC 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. Условия окружающей среды. Напряжения провалов и кратковременных прерываний в подаче питания в коммунальных системах электроснабжения и результаты статистического наблюдения)
IEC 61000-2-12:2003	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 2-12: Environment. Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public medium-voltage power supply systems (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 2-12. Условия окружающей среды. Уровни совместимости низкочастотных кондуктивных помех и передачи сигналов в системах коммунального электроснабжения средней мощности)
IEC 61000-3-5:1994	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3: Limits. Section 5. Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3. Нормы. Раздел 5. Ограничение колебаний напряжения в низковольтных системах электропитания для оборудования с номинальным током более 16 А на фазу, подключаемого к низковольтным системам электроснабжения)
IEC 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 (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3. Пределы. Раздел 6. Оценка пределов излучения для искажающих нагрузок в электрических системах средних и высоких напряжений. Основная публикация по ЭМС)
IEC 61000-3-12	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3-12: Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current ≤75 A per phase and subject to restricted connection (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-12. Нормы. Нормы для гармонических составляющих токов, создаваемых оборудованием, подключенным к низковольтным системам общего пользования, с номинальным током > 16 А и <= 75 А в одной фазе)
IEC 61000-4-1:2000	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-1: Testing and measurement techniques. Overview of IEC 61000-4 series (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-1. Методы испытаний и измерений. Общий обзор серии стандартов IEC 61000-4)
IEC 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 61000-4-9:1993	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4: Testing and measurement techniques. Section 9. Pulse magnetic field immunity test (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4. Методы испытаний и измерений. Раздел 9. Испытание на помехоустойчивость к импульсному магнитному полю)
IEC 61000-4-10:1993	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4: Testing and measurement techniques. Section 10. Damped oscillatory magnetic field immunity test (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4. Методы испытаний и измерений. Раздел 10. Испытание на помехоустойчивость к воздействию магнитного поля с затухающими колебаниями. Основные публикации по ЭМС)
IEC 61000-5-1:1996	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 5: Installation and mitigation guidelines. Section 1. General consideration (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 5. Руководства по монтажу и подавлению помех. Общие положения. Основная публикация по ЕМС)
IEC 61000-5-2:1997	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 5: Installation and mitigation guidelines. Section 2. Earthing and cabling (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 5. Руководства по монтажу и подавлению помех. Раздел 2. Заземление и прокладка кабелей)
IEC 61000-6-1:1997	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 6: Generic standards. Section 1. Immunity for residential, commercial and light-industrial environments (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 6. Родственные стандарты. Раздел 1. Помехозащищенность для объектов в условиях окружающей среды жилого, коммерческого и промышленного характера)

IEC 61000-6-2:1999	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 6-2: Generic standards. Immunity for industrial environments (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 6-2. Родственные стандарты. Помехозащищенность для промышленной среды)
IEC 61000-6-4:1997	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 6: Generic standards. Section 4. Emission standard for industrial environments (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 6. Групповые родственные стандарты. Раздел 4. Стандарт на излучения для промышленной окружающей среды)
IEC 61000-6-5:2001	Electromagnetic compatibility (EMC). Part 6-5: Generic standards. Immunity for power stations and substations environments (Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 6-5. Общие стандарты. Помехоустойчивость электростанций и подстанций)
IEC 61400-21:2008	Wind turbines. Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines (Турбины ветровые. Часть 21. Измерение и оценка характеристик качества электроэнергии энергетической системы, соединенной с ветровыми турбинами)
IEC 61800-5-1:2003	Adjustable speed electrical power drive systems. Part 5-1: Safety requirements. Electrical, thermal and energy (Системы силовых электрических приводов с регулируемой скоростью. Часть 5-1. Требования безопасности. Электро-, тепло- и энергобезопасность)
IEC 62103:2003	Electronic Equipment for use in power installations (Оборудование электронное для использования в энергоустановках)

УДК 621.396/.397.001.4:006.354(083.74)(476) МКС 29.200; 33.100 IDT

Ключевые слова: система электрического привода с регулируемой скоростью, электромагнитная совместимость

Редактор *В.Н. Шмельков*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 03.09.2021. Подписано в печать 29.09.2021. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 10,10.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru