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

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 60664-1— 2023

КООРДИНАЦИЯ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ СИСТЕМ ПИТАНИЯ

Часть 1

Принципы, требования и испытания

(IEC 60664-1:2020, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

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 Открытым акционерным обществом «Испытания и сертификация бытовой и промышленной продукции «БЕЛЛИС» 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 2023 г. № 63-2023)

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
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узбекское агентство по техническому регулированию

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июля 2024 г. № 974-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60664-1—2023 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2025 г. с правом досрочного применения

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 60664-1:2020 «Координация изоляции для оборудования низковольтных систем питания. Часть 1. Принципы, требования и испытания» («Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems — Part 1: Principles, requirements and tests», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом 109 «Координация изоляции для низковольтного оборудования» 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, 2020
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024



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, определения, обозначения и сокращения 2
4 Основополагающие технические характеристики координации изоляции 7
4.1 Общие положения 7
4.2 Напряжения 7
4.3 Категории перенапряжения 9
4.4 Частота 10
4.5 Загрязнение 11
4.6 Изоляционный материал 11
4.7 Аспекты окружающей среды 13
4.8 Продолжительность воздействия напряжением 14
4.9 Распределение электрического поля 14
5 Проектирование координации изоляции 14
5.1 Общие положения 14
5.2 Определение размеров воздушных зазоров 15
5.3 Определение размеров путей утечки 17
5.4 Требования для конструкции твердой изоляции 20
6 Испытания и измерения 22
6.1 Общие положения 22
6.2 Проверка воздушных зазоров 22
6.3 Проверка путей утечки 25
6.4 Проверка твердой изоляции 25
6.5 Проведение испытаний изоляционных свойств на комплектном оборудовании 30
6.6 Другие испытания 31
6.7 Измерение затухания переходных перенапряжений 32
6.8 Измерение воздушных зазоров и путей утечки 32
Приложение А (справочное) Основные данные о характеристиках устойчивости воздушных зазоров 38
Приложение В (справочное) Номинальные напряжения сети питания для различных способов контроля перенапряжения 43
Приложение С (обязательное) Методы измерения частичного разряда 45
Приложение D (справочное) Дополнительная информация о методах измерения частичного разряда 49
Приложение Е (справочное) Сравнение путей утечки, приведенных в таблице F.5, и воздушных зазоров из таблицы А.1 51
Приложение F (обязательное) Таблицы 52
Приложение G (справочное) Определение воздушных зазоров в соответствии с 5.2 62
Приложение Н (справочное) Определение путей утечки в соответствии с 5.3 64
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 66
Библиография 67

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

КООРДИНАЦИЯ ИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ НИЗКОВОЛЬТНЫХ СИСТЕМ ПИТАНИЯ

Часть 1

Принципы, требования и испытания

Insulation coordination for equipment within low-voltage supply systems.
Part 1. Principles, requirements and tests

Дата введения — 2025—07—01
с правом досрочного применения

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к координации изоляции для оборудования, подключаемого к низковольтным системам питания и имеющего номинальное напряжение до 1 000 В переменного тока или до 1 500 В постоянного тока включительно.

Настоящий стандарт применим для частот до 30 кГц включительно.

Примечание 1 — Требования координации изоляции для оборудования низковольтных систем питания с номинальной частотой свыше 30 кГц указаны в IEC 60664-4.

Примечание 2 — Во внутренних цепях оборудования могут быть более высокие напряжения.

Стандарт применяется к оборудованию, предназначенному для использования на высоте до 2 000 м над уровнем моря и содержит пояснения при использовании на больших высотах (см. 5.2.3.4).

Стандарт содержит требования для технических комитетов по определению воздушных зазоров, путей утечки и критериев для твердой изоляции, в том числе методы электрических испытаний, относящиеся к координации изоляции.

Минимальные воздушные зазоры, указанные в настоящем стандарте, не применяются при наличии ионизированных газов. Специальные требования для таких случаев могут указываться на усмотрение соответствующих технических комитетов.

Требования данного стандарта не распространяются на воздушные зазоры и пути утечки:

- через жидкую изоляцию;
- через газообразную среду, иную, чем воздух;
- через сжатый воздух.

Это основополагающий стандарт по безопасности, в котором особое внимание уделяется основным требованиям безопасности и в первую очередь предназначен для использования техническими комитетами при разработке стандартов в соответствии с принципами, изложенными в IEC Guide 104 и ISO/IEC Guide 51.

Одна из задач технического комитета, где это применимо, использовать этот основополагающий стандарт по безопасности при подготовке своих публикаций.

Однако в случае отсутствия указания значений воздушных зазоров, путей утечки и требований к твердой изоляции в соответствующих стандартах на продукцию или в случае отсутствия соответствующих стандартов применяется настоящий стандарт.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

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

IEC 60068-2-2, Environmental testing — Part 2-2: Tests — Tests B: Dry heat (Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-2. Испытания. Испытания B. Сухое тепло)

IEC 60068-2-14:2009*, Environmental testing — Part 2-14: Tests — Test N: Change of temperature (Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-14. Испытания. Испытание N. Изменение температуры)

IEC 60068-2-78, Environmental testing — Part 2-78: Tests — Test Cab: Damp heat, steady state (Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-78. Испытания. Испытание Cab. Влажное тепло, постоянный режим)

IEC 60270, High-voltage test techniques — Partial discharge measurements (Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов)

IEC 61140:2016, Protection against electric shock — Common aspects for installation and equipment (Защита от поражения электрическим током. Общие положения для установок и оборудования)

IEC 61180:2016, High-voltage test techniques for low-voltage equipment — Definitions, test and procedure requirements, test equipment (Методы испытаний высокими напряжениями низковольтного оборудования. Определения, требования к испытаниям и применяемым методам, испытательное оборудование)

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями.

Терминологические базы данных поддержки ISO и IEC для использования в стандартизации находятся по следующим адресам:

- Электропедия IEC: gost.e-ecolog.ru ;
- платформа онлайн-просмотра ISO: gost.e-ecolog.ru .

3.1 Термины и определения

3.1.1 **низковольтная система питания** (low-voltage supply system): Все установки или агрегаты, предназначенные для создания, передачи и распространения электрической энергии.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-601:1985 (терминологическая статья 601-01-01), модифицировано: заменен термин «система энергоснабжения» на «низковольтная система питания»].

3.1.2 **электрическая сеть** (mains supply): Электрораспределительная сеть переменного или постоянного тока (внешняя по отношению к оборудованию), которая обеспечивает рабочее питание оборудования.

Примечание — Электрическая сеть включает в себя государственные или частные предприятия и, если в рамках данного стандарта не согласовано иное, эквивалентные источники питания, такие как моторные электрогенераторы и источники бесперебойного питания.

3.1.3 **координация изоляции** (insulation coordination): Взаимосвязанные характеристики изоляции электрического оборудования с учетом окружающей микросреды и других влияющих воздействий.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-442:2014 (терминологическая статья 442-09-01), модифицировано: заменен термин «электрическая часть» на «электрический» и добавлено примечание 1].

Примечание — Воздействия напряжения описываются характеристиками терминов, указанных в 3.1.7—3.1.16.

3.1.4 **воздушный зазор** (clearance): Кратчайшее расстояние по воздуху между двумя токопроводящими частями.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-581:2008 (терминологическая статья 581-27-76)].

* Заменен на IEC 60068-2-14:2023. Однако для однозначного соблюдения требования настоящего стандарта, выраженного в датированной ссылке, рекомендуется использовать только указанное в этой ссылке издание.

3.1.5 **путь утечки** (creepage distance): Кратчайшее расстояние по поверхности изоляционного материала между двумя токопроводящими частями.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-151:2001 (терминологическая статья 151-15-50)].

3.1.6 **твердая изоляция** (solid insulation): Твердый изоляционный материал или комбинация твердых изоляционных материалов, расположенные между двумя токопроводящими частями или между токопроводящей частью и корпусом.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-903:2015 (терминологическая статья 903-04-14), модифицировано: пример удален].

3.1.7 **рабочее напряжение** (working voltage): Наибольшее среднеквадратичное значение напряжения переменного или постоянного тока на любой конкретной изоляционной части, которое появляется, когда оборудование питается номинальным напряжением.

Примечание 1 — Переходные перенапряжения не учитываются.

Примечание 2 — Принимаются во внимание как условия в режиме холостого хода, так и в режиме нормальной работы.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-851:2008 (терминологическая статья 851-12-31)].

3.1.8 **установившееся рабочее напряжение** (steady-state working voltage): Рабочее напряжение после прекращения переходных перенапряжений и без учета кратковременных изменений напряжения.

3.1.9 **установившееся пиковое напряжение** (steady-state peak voltage): Пиковое значение установившегося рабочего напряжения.

3.1.10 **повторяющееся пиковое напряжение $U_{гр}$** (recurring peak voltage; $U_{гр}$): Максимальное пиковое значение периодической составляющей формы волны напряжения в результате искажений напряжения переменного тока или из-за наложения компонентов переменного тока на напряжение постоянного тока.

Примечание — Случайные перенапряжения, например во время редких переключений, не считаются повторяющимися пиковыми напряжениями.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-442:2014 (терминологическая статья 442-09-15)].

3.1.11 **перенапряжение (электрической системы)** (overvoltage (electrical system)): Любое напряжение, имеющее пиковое значение, превышающее соответствующее пиковое значение максимального установившегося рабочего напряжения в условиях нормальной работы.

3.1.12 **временное перенапряжение** (temporary overvoltage): Перенапряжение на промышленной частоте сравнительно продолжительной длительности.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-614:2016 (терминологическая статья 614-03-13), модифицировано: заменен термин «перенапряжение промышленной частоты» на «перенапряжение на промышленной частоте» и удалено примечание 1].

3.1.13 **переходное перенапряжение** (transient overvoltage): Кратковременное перенапряжение длительностью не более нескольких миллисекунд, колебательное или неколебательное, как правило, быстро затухающее.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-614:2016 (терминологическая статья 614-03-14), модифицировано: заменены слова «перенапряжение продолжительностью» на «кратковременное перенапряжение» и удалены примечания].

3.1.14 **выдерживаемое напряжение (электрическая система)** (withstand voltage <in an electrical system>): Напряжение, прикладываемое к образцу при определенных условиях испытания, которое не вызывает пробоя изоляции и/или поверхностного перекрытия на образце.

3.1.15 **импульсное выдерживаемое напряжение** (impulse withstand voltage): Наибольшее пиковое значение импульсного напряжения определенной формы и полярности, которое не вызывает пробоя изоляции в определенных условиях.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-442:2014 (терминологическая статья 442-09-18), модифицировано: заменен термин «предписанное» на «определенное»].

3.1.16 **временное выдерживаемое перенапряжение** (temporary withstand overvoltage): Наибольшее среднеквадратичное значение временного перенапряжения, которое не вызывает пробоя изоляции в указанных условиях.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-442:2014 (терминологическая статья 442-09-19)].

3.1.17 **номинальное напряжение U_n** (оборудование) (rated voltage, U_n, <of equipment>): Значение напряжения, установленное изготовителем, компонента, устройства или оборудования, к которому относятся рабочие и эксплуатационные характеристики.

Примечание — Оборудование может иметь больше одного номинального значения напряжения или может иметь диапазон номинальных напряжений.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-442:2014 (терминологическая статья 442-09-10), модифицировано: заменен термин «номинальное значение напряжения» на «значение напряжения» и удалено примечание 2].

3.1.18 **номинальное напряжение изоляции U_i** (rated insulation voltage; U_i): Значение среднеквадратичного выдерживаемого напряжения, установленное изготовителем, оборудования или его части, характеризующее заданную (длительную) выдерживающую способность его изоляции.

Примечание — Номинальное напряжение изоляции равно или превышает номинальное напряжение оборудования, которое в первую очередь связано с его функциональными характеристиками.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-312:2014 (терминологическая статья 312-06-02), модифицировано: был добавлен символ, в определении заменены слова: «номинальное значение» на «значение»; в примечании заменены слова: «не обязательно равно» на «равно или превышает»].

3.1.19 **номинальное импульсное выдерживаемое напряжение U_{imp}** (rated impulse withstand voltage; U_{imp}): Значение импульсного выдерживаемого напряжения, установленное изготовителем, оборудования или его части, характеризующее заданную выдерживающую способность его изоляции противостоять переходным перенапряжениям.

3.1.20 **категория перенапряжения** (overvoltage category): Число, определяющее условия переходных перенапряжений.

Примечание — Используются категории перенапряжения I, II, III и IV (см. 4.3.2).

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-581:2008 (терминологическая статья 581-21-02), модифицировано: добавлено примечание 1].

3.1.21 **окружающая среда** (электрическая система) (environment <of an electrical system>): Внешнее окружение, способное повлиять на характеристики оборудования или системы.

Пример — Давление, температура, относительная влажность, загрязнение, радиация и вибрация.

3.1.22 **макросреда** (macro-environment): Окружающая среда в помещении или в локальной зоне, в которой установлено или используется оборудование.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-442:2014 (терминологическая статья 442-01-55)].

3.1.23 **микросреда*** (электрическая система) (micro-environment <of an electrical system>): Среда, окружающая изоляцию, которая непосредственно влияет на размер воздушных зазоров и путей утечки.

3.1.24 **загрязнение** (электрическая система) (pollution <of an electrical system>): Инородные вещества в любом состоянии, твердом, жидком или газообразном, которые могут повлиять на электрическую прочность или поверхностное удельное сопротивление изоляции.

3.1.25 **степень загрязнения** (pollution degree): Число, характеризующее ожидаемое загрязнение микросреды.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-581:2008 (терминологическая статья 581-21-07), модифицировано: удалено примечание 1].

3.1.26 **однородное поле** (homogeneous field): Электрическое поле, которое имеет практически постоянный градиент напряжения между электродами.

Примечание — Условия для однородного поля указаны как случай B в таблицах F.2 и F.8. Также см. 4.9.

3.1.27 **неоднородное поле** (inhomogeneous field, non-uniform field): Электрическое поле, которое не имеет практически постоянного градиента напряжения между электродами.

Примечание — Также см. 4.9.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-442:2014 (терминологическая статья 442-09-03), модифицировано: заменены слова «неоднородное электрическое поле» на «неоднородное поле», заменено примечание 1 на новое примечание 1 и удалено примечание 2].

---

* В некоторых стандартах также применяется термин «локальная окружающая среда».

3.1.28 **электрическая изоляци**я (electric insulation): Часть электротехнического изделия, которая отделяет токопроводящие части с разным электрическим потенциалом в процессе работы или изолирует такие части от внешней среды.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-212:2010 (терминологическая статья 212-11-07), модифицировано: заменены слова «электрическая часть» на «электрический»].

3.1.29 **функциональная изоляция** (functional insulation): Изоляция между токопроводящими частями, которая служит исключительно для обеспечения функционирования оборудования.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-195:1998 (терминологическая статья 195-02-41, модифицировано: заменены слова «необходима» на «которая служит исключительно»].

3.1.30 **основная изоляция** (basic insulation): Изоляция опасных токопроводящих частей, которая обеспечивает основную защиту.

Примечание — Это понятие не распространяется на изоляцию, используемую исключительно в функциональных целях.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-826:2004 (терминологическая статья 826-12-14)].

3.1.31 **дополнительная изоляция** (supplementary insulation): Независимая изоляция, дополняющая основную изоляцию для обеспечения защиты от поражения электрическим током.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-826:2004 (терминологическая статья 826-12-15)].

3.1.32 **двойная изоляция** (double insulation): Изоляция, состоящая из основной и дополнительной изоляций.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-826:2004 (терминологическая статья 826-12-16)].

3.1.33 **усиленная изоляция** (reinforced insulation): Изоляция опасных токопроводящих частей, которая обеспечивает степень защиты от поражения электрическим током, эквивалентную двойной изоляции.

Примечание — Усиленная изоляция может состоять из нескольких слоев, которые не могут быть испытаны отдельно как дополнительная или основная изоляция.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-826:2004 (терминологическая статья 826-12-17)].

3.1.34 **частичный разряд;** ЧР (partial discharge; PD): Электрический разряд, частично перекрывающий изоляцию.

Примечание 1 — Частичный разряд может происходить внутри изоляции или рядом с проводником.

Примечание 2 — Небольшие энергетические искрения на поверхности изоляционного материала часто описываются как частичные разряды, но их следует рассматривать скорее как небольшие электрические пробойные разряды, поскольку они являются результатом локальных пробоев диэлектрика с высокой плотностью ионизации или небольших дуг, согласно законам физики.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-442:2014 (терминологическая статья 442-09-05), модифицировано: добавлены примечания 1 и 2].

3.1.35 **кажущийся заряд, q_{app}** (apparent charge, q_{app}): Электрический заряд, который можно измерить на зажимах испытуемого образца.

Примечание 1 — Кажущийся заряд меньше частичного разряда.

Примечание 2 — Измерение кажущегося заряда требует наличия условий короткого замыкания на выводах испытуемого образца (см. раздел D.2).

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-442:2014 (терминологическая статья 442-09-06), модифицировано: добавлено в примечание 2: «(см. пункт D.2)»].

3.1.36 **заданная величина разряда** (specified discharge magnitude): Величина кажущегося заряда, если она рассматривается как предельное значение.

Примечание — Необходимо проводить оценку импульса с максимальной амплитудой.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-442:2014 (терминологическая статья 442-09-07)].

3.1.37 **частота повторения импульса** (pulse repetition rate): Среднее количество импульсов в секунду с кажущимся зарядом выше уровня обнаружения.

Примечание — В настоящем стандарте нет установленной величины разряда для частоты повторения импульсов.

3.1.38 **начальное напряжение частичного разряда** (partial discharge inception voltage): Минимальное значение испытательного напряжения, при котором кажущийся заряд становится больше, чем заданная величина разряда, когда испытательное напряжение становится больше минимального значения, при котором этот разряд не возникает.

Примечание — Для испытаний переменного тока может использоваться среднеквадратичное значение.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-212:2014 (терминологическая статья 212-11-41)].

3.1.39 **затухающее напряжение частичного разряда** (электрическая система) (partial discharge extinction voltage <of an electrical system>): Минимальное значение испытательного напряжения, при котором кажущийся заряд становится меньше, чем заданная величина разряда, когда испытательное напряжение становится меньше максимального уровня, при котором возникают такие разряды.

Примечание — Для испытаний переменного тока может использоваться среднеквадратичное значение.

3.1.40 **испытательное напряжение частичного разряда** (partial discharge test voltage): Пиковое значение напряжения частичного разряда, при котором кажущийся заряд меньше, чем заданная величина разряда.

Примечание — Для испытаний переменного тока может использоваться среднеквадратичное значение.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-212:2014 (терминологическая статья 212-11-62), модифицировано: примечание 1 удалено, примечание 2 переименовано в примечание 1].

3.1.41 **типовое испытание** (электрическая система) (type test <of an electrical system>): Испытание, проведенное на одном или нескольких устройствах, имеющих определенную конструкцию, для установления соответствия характеристикам.

3.1.42 **контрольное испытани**е (routine test): Индивидуальное испытание каждого образца, проводимое в течение или после изготовления для установления соответствия определенным критериям.

3.1.43 **выборочное испытание** (sampling test): Испытание на числе устройств, случайным образом отобранных из партии.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-411:1996 (терминологическая статья 411-53-05), модифицировано: заменен термин «механизм» на «устройство»].

3.1.44 **повреждение изоляци**и (electric breakdown): Повреждение в результате электрического воздействия, при котором происходит пробой по изоляции до тех пор, пока напряжение между электродами не снизится почти до нуля.

3.1.45 **искровое перекрытие** (электрическая система) (sparkover <of an electrical system>): Электрический пробой в газообразной или жидкой среде.

3.1.46 **поверхностное перекрытие** (flashover): Электрический пробой между проводниками в газе, жидкости или вакууме по крайней мере частично по поверхности твердой изоляции.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-212:2010 (терминологическая статья 212-11-47)].

3.1.47 **пробой** (puncture): Электрический пробой через твердую изоляцию.

[ИСТОЧНИК: IEC 60050-614:2016 (терминологическая статья 614-03-17), модифицировано: заменены слова: «пробойный разряд» на «электрический пробой» и «диэлектрик» на «изоляция»].

3.2 Обозначения и сокращения

Перечень терминов с обозначениями и символами вместе с указанием соответствующего пункта термина:

Обозначение/символ	Термин	Пункт термина
U_n	номинальное напряжение	3.1.17
U_i	номинальное напряжение изоляции	3.1.18
U_{imp}	номинальное импульсное выдерживаемое напряжение	3.1.19
U_{rp}	повторяющееся пиковое напряжение	3.1.10
q_{app}	кажущийся заряд	3.1.35
ЧР	частичный разряд	3.1.34

4 Основополагающие технические характеристики координации изоляции

4.1 Общие положения

Для координации изоляции необходимо выбрать технические характеристики электрической изоляции оборудования с учетом его применения, а также расположения и условий окружающей среды на месте эксплуатации.

Координация изоляции представляет собой одну из сторон безопасности людей, домашнего скота и имущества, поэтому вероятность возникновения опасных ситуаций из-за воздействия напряжения не приводит к недопустимому риску причинения вреда.

В настоящем стандарте рассматривается координация изоляции для любого вида опасности. Технические комитеты должны учитывать понятия воздушного зазора, пути утечки и твердой изоляции, а также понятия функциональной изоляции, основной изоляции, дополнительной изоляции, двойной изоляции и усиленной изоляции для конкретного вида опасности с учетом характера опасности.

Технический комитет должен провести оценку риска для определения опасности в случае нарушения функциональной изоляции. В случае если несоответствие функциональной изоляции может привести к недопустимому риску причинения вреда (например, из-за механического состояния, старения), функциональная изоляция должна быть спроектирована так, чтобы соответствовать как минимум требованиям основной изоляции, после чего выполняется еще одна оценка риска для определения остаточного риска. См. 5.2—5.4. В случае если нарушение функциональной изоляции не создает никакой опасности, технический комитет может решить не применять требований данного основополагающего стандарта по безопасности.

Примечание — См. ISO/IEC Guide 51 и IEC Guide 116 для более детальной информации об оценке риска и недопустимости риска причинения вреда.

К техническим характеристикам электрической изоляции относятся:

- напряжения по изоляции в соответствии с 4.2;
- категории перенапряжения в соответствии с 4.3;
- частота в соответствии с 4.4;
- степень загрязнения в соответствии с 4.5;
- изоляционные материалы в соответствии с 4.6;
- аспекты окружающей среды в соответствии с 4.7 (например, высота (см. 4.7.2), температура (см. 4.7.3), вибрации (см. 4.7.4), относительная влажность (см. 4.7.5), продолжительность (см. 4.8);
- распространение поля в соответствии с 4.9.

Координация изоляции достигается только при условии, что конструкция оборудования основывается на устойчивости к электрическим воздействиям в течение предусмотренного срока службы.

4.2 Напряжения

4.2.1 Общие положения

При изготовлении изоляции учитываются следующие важные аспекты:

- напряжения, которые могут появиться внутри системы:
- переходные перенапряжения в соответствии с 4.2.2 и категория перенапряжения в соответствии с 4.3;
- временные перенапряжения в соответствии с 4.2.3;
- напряжения, создаваемые оборудованием (которые могут негативно влиять на другое оборудование в системе):
- переходные перенапряжения в соответствии с 4.2.2;
- повторяющееся пиковое напряжение в соответствии с 4.2.4;
- установившееся рабочее напряжение в соответствии с 4.2.5;
- установившееся пиковое напряжение в соответствии с 4.2.6.

4.2.2 Переходные перенапряжения

4.2.2.1 Общие положения

При обеспечении координации изоляции необходимо принимать во внимание переходные перенапряжения. Должны учитываться следующие переходные перенапряжения:

- переходные перенапряжения, вызванные атмосферными возмущениями (например, побочные явления вследствие ударов молний) и передаваемые через распределительную систему электрической сети;
- переходные перенапряжения, создаваемые переключением нагрузок в электрической сети;
- переходные перенапряжения, создаваемые внешними цепями;
- переходные перенапряжения, возникающие внутри оборудования.

Для координации изоляции применяется предпочтительный ряд значений импульсных напряжений. Предпочтительные импульсные напряжения:

330 В, 500 В, 800 В, 1 500 В, 2 500 В, 4 000 В, 6 000 В, 8 000 В, 12 000 В.

Координация изоляции в отношении переходных перенапряжений основывается на условиях контроля перенапряжений. Существует два рода контроля:

- естественный контроль — условия в электрической системе, при которых характеристики системы способны ограничивать ожидаемые переходные перенапряжения до определенного уровня;
- защитный контроль — условия в электрической системе, при которых специальные средства подавления перенапряжения способны ограничивать ожидаемые переходные перенапряжения до определенного уровня.

Также см. таблицы В.1 и В.2.

4.2.2.2 Переходные перенапряжения, приходящие через электрическую сеть

Для определения ожидаемых переходных процессов, вызванных атмосферными возмущениями или переключением нагрузок в электрической сети, в качестве основы для установления требуемого импульсного выдерживаемого напряжения обычно используются номинальное напряжение U_n и категория перенапряжения.

Эти переходные перенапряжения должны учитываться для оборудования, подверженного переходным перенапряжениям, превышающим импульсное выдерживаемое напряжение.

4.2.2.3 Переходные перенапряжения, создаваемые внешними цепями

Должно быть определено применяемое значение переходного перенапряжения, которое может возникнуть в любой внешней цепи (например, в коаксиальном кабеле или в витой паре сети). При наличии более чем одной внешней цепи применяется наибольшее переходное перенапряжение.

Если известно, что переходные перенапряжения внешней цепи больше, чем те, которые соответствуют категории перенапряжения, обычно определяемой для такого типа оборудования, то должно использоваться наибольшее значение из этих известных переходных перенапряжений.

4.2.2.4 Переходные перенапряжения, возникающие внутри оборудования

Для оборудования, в котором может возникнуть перенапряжение, превышающее ожидаемые перенапряжения вследствие переходных процессов в оборудовании, например, из-за переключающих устройств, требуемое импульсное напряжение должно учитывать переходные процессы, возникающие в оборудовании. Значение этих переходных перенапряжений, возникающих внутри оборудования, должно использоваться без учета предпочтительного ряда из 4.2.2.1.

4.2.2.5 Затухание уровней переходных перенапряжений

Оборудование или его части могут использоваться в условиях снижения переходных процессов. Существуют различные технологии изготовления компонентов, таких как устройство защиты от импульсного перенапряжения (УЗИП), трансформатор, конденсатор, резистор, и которые могут иметь различное поведение вследствие затухания переходного перенапряжения. Эти различные технологии должны быть проверены, а метод измерения распространения затухания должен быть определен на основе их соответствующих стандартов на продукцию.

Следует обратить внимание на тот факт, что устройство защиты от импульсного перенапряжения, расположенное внутри установки или оборудования может рассеивать больше энергии, чем устройство защиты от импульсного перенапряжения, расположенное на входе установки, которое имеет более высокий уровень защиты (напряжение ограничения). Особенно это относится к устройству защиты от импульсного перенапряжения с самым низким уровнем защиты (ограничивающим напряжением).

В случае если ожидается затухание переходного процесса, переходное перенапряжение по изоляции может быть измерено путем применения к оборудованию требуемого импульсного испытания и измерения актуального остаточного переходного процесса на изоляции, см. 6.7. Измеренное значение может использоваться как ожидаемое переходное перенапряжение. Во время проведения испытания оборудование питается номинальным напряжением, и необходимо учитывать переходные процессы обеих полярностей.

4.2.3 Временные перенапряжения

Из-за сбоев в электрической сети в течение нескольких секунд будут возникать временные перенапряжения между фазами и землей/нейтралью, которые следует учитывать при обеспечении координации изоляции.

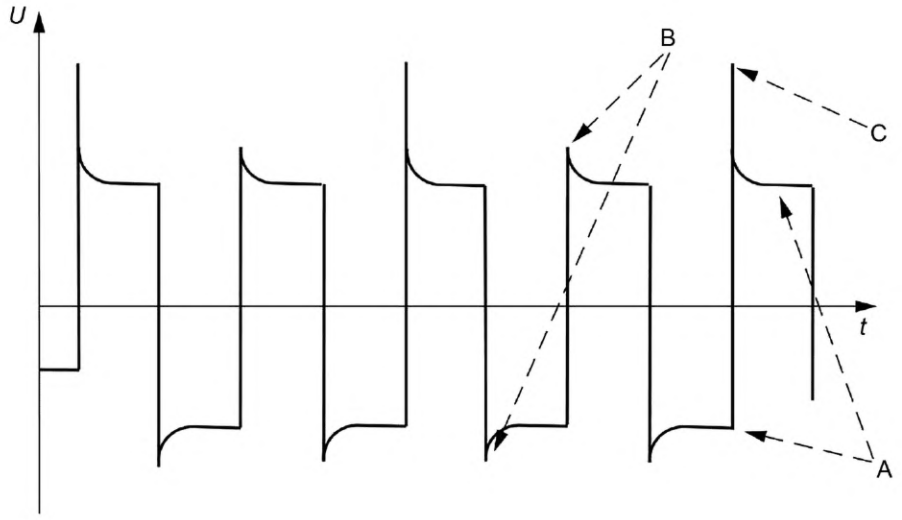
Координация изоляции временных перенапряжений основана на временных перенапряжениях, указанных в IEC 60364-4-44:2007 (пункт 442). Значения временного перенапряжения в низковольтном оборудовании из-за замыкания на землю в высоковольтной системе приведены в 5.4.3.2.

4.2.4 Повторяющееся пиковое напряжение

Из-за предполагаемых режимов работы конкретных изделий возникающие внутренние напряжения могут также включать повторяющиеся пики, которые накладываются на рабочее напряжение. Эти повторяющиеся пиковые напряжения необходимо учитывать при обеспечении координации изоляции.

Координация изоляции повторяющегося пикового напряжения должна учитывать частичные разряды, происходящие в твердой изоляции (см. 4.6.2.3) или по поверхности изоляции (см. таблицу F.9).

Повторяющееся пиковое напряжение имеет форму волны, которая измеряется осциллографом с достаточной полосой пропускания и из которой определяется пиковая амплитуда в соответствии с рисунком 1.



A — установившееся значение напряжения; B — установившееся пиковое напряжение;
C — повторяющееся пиковое напряжение

Рисунок 1 — Повторяющееся пиковое напряжение

4.2.5 Установившееся рабочее напряжение

Необходимо учитывать наибольшее установившееся рабочее напряжение (среднеквадратичное значение переменного или постоянного тока) по изоляции при питании оборудования номинальным напряжением. Это установившееся рабочее напряжение может быть ниже, равным или выше номинального напряжения оборудования. Установившееся рабочее напряжение внутренних цепей является прямым следствием конструкции изделий и может быть значительно выше номинального напряжения.

4.2.6 Установившееся пиковое напряжение

Необходимо учитывать пиковое значение установившегося рабочего напряжения по изоляции при питании оборудования номинальным напряжением. Установившееся пиковое напряжение внутренних цепей является прямым следствием конструкции изделий.

4.3 Категории перенапряжения

4.3.1 Общие положения

Понятие категорий перенапряжения используется для оборудования, питаемого непосредственно от сети.

В самой установке категории перенапряжения носят скорее вероятностный характер затухания переходного перенапряжения, чем физический смысл.

Примечание — Данное понятие категории перенапряжения используется в пункте 443 IEC 60364-4-44:2007 и IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015.

Аналогичное понятие может также использоваться для оборудования, подключенного к другим системам, например системам связи и передачи данных.

4.3.2 Оборудование, питающееся непосредственно от электрической сети

Технические комитеты должны определять категорию перенапряжения на основе установленных следующим образом категорий перенапряжения:

- Оборудование категории перенапряжения IV — оборудование, используемое на вводе в установку.

Примечание 1 — Примерами такого оборудования служат электрические измерительные приборы, устройства защиты от сверхтоков в первичной цепи, устройства управления пульсациями.

- Оборудование категории перенапряжения III — оборудование стационарных установок и для случаев, когда надежность и доступность оборудования являются предметом особых требований.

Примечание 2 — Примерами такого оборудования служат выключатели в стационарных установках и оборудование для промышленного использования с постоянным подключением к стационарной установке.

- Оборудование категории перенапряжения II — энергопотребляющее оборудование, питаемое от стационарных установок. Если к такому оборудованию предъявляются особые требования относительно надежности и готовности, применяется категория перенапряжения III.

Примечание 3 — Примерами такого оборудования являются электроприборы, переносные инструменты, другое бытовое и аналогичное оборудование.

- Оборудование с импульсным выдерживаемым напряжением, соответствующим категории перенапряжения I, не должно иметь прямого подключения к сети.

Должны быть приняты меры для обеспечения достаточного ограничения возможных временных перенапряжений, чтобы их пиковое значение не превышало соответствующее номинальное импульсное напряжение, указанное в таблице F.1.

Примечание 4 — Если электрические цепи спроектированы без учета временных перенапряжений, то оборудование категории перенапряжения I не может быть напрямую подключено к сети.

4.3.3 Оборудование и системы, не питающиеся непосредственно от электрической сети

Рекомендуется, чтобы технические комитеты определяли категории перенапряжения или номинальное выдерживаемое импульсное напряжение в зависимости от ситуации. Рекомендуется применять предпочтительный ряд значений импульсных напряжений, указанный в 4.2.2.1.

Примечание — Примерами таких систем являются телекоммуникационные или промышленные системы управления или независимые системы транспортных средств.

4.4 Частота

4.4.1 Общие положения

С увеличением частоты способность воздушных зазоров, путей утечки и твердой изоляции выдерживать напряжение будет уменьшаться. Этот эффект можно наблюдать, начиная с частоты 1 кГц. Конструкция воздушных зазоров, путей утечки и твердой изоляции в соответствии с настоящим стандартом учитывает эффекты влияния высоких частот до 30 кГц включительно. Для частот выше 30 кГц см. 5.1.2.

4.4.2 Твердая изоляция

Частота влияет на электрическую прочность твердой изоляции. Нагрев диэлектрического материала и вероятность тепловой нестабильности возрастают примерно пропорционально частоте. Увеличение частоты снижает электрическую прочность большинства изоляционных материалов.

Это условие наблюдается в импульсных стабилизаторах напряжения, где изоляция подвергается повторяющимся пикам напряжения на частотах до 500 кГц.

4.5 Загрязнение

4.5.1 Общие положения

Микросреда определяет влияние загрязнения на изоляцию. Однако при рассмотрении микросреды необходимо принимать во внимание макросреду.

Могут быть предусмотрены средства для уменьшения загрязнения рассматриваемой изоляции за счет эффективного использования оболочек, герметизации или уплотнения. Такие средства уменьшения загрязнения могут оказаться неэффективными, если оборудование подвержено конденсации влаги или если при нормальной работе оно само является источником загрязнений. Оболочки для наружной и внутренней установки, предназначенные для использования в местах с высокой влажностью и колебаниями температуры в широких пределах, должны быть снабжены соответствующими приспособлениями (естественная вентиляция, принудительная вентиляция, внутренний обогрев, дренажные отверстия и т. д.) для предотвращения негативных эффектов конденсации внутри оболочки. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP), в соответствии с классами, указанными в IEC 60529, не обязательно улучшают микросреду с точки зрения загрязнения.

Технический комитет должен предоставить информацию для подтверждения в соответствии со своими стандартами, работоспособностью закрытой системы.

Небольшие воздушные зазоры могут быть полностью перекрыты твердыми частицами, пылью и водой, поэтому минимальные воздушные зазоры указываются там, где загрязнение может присутствовать в микросреде.

4.5.2 Степени загрязнения в микросреде

Для оценки воздушных зазоров и расстояний утечки установлены следующие четыре степени загрязнения микросреды:

- Степень загрязнения 1:

Загрязнение отсутствует или имеется только сухое непроводящее загрязнение. Загрязнение незначительное.

- Степень загрязнения 2:

Наличие только непроводящего загрязнения, исключая то, что оно может стать временно проводящим в период конденсации влаги. Эта конденсация может происходить во время циклов включения-выключения оборудования.

- Степень загрязнения 3:

Имеется проводящее загрязнение или сухое непроводящее загрязнение, которое может стать проводящим вследствие конденсации.

- Степень загрязнения 4:

Загрязнение, имеющее устойчивую проводимость, вызванное, например, проводящей пылью, дождем или другими условиями с повышенной влажностью.

4.5.3 Условия проводящего загрязнения

Длина путей утечки не может быть определена при наличии постоянно проводящего загрязнения (степень загрязнения 4). В случае временно проводящего загрязнения (степень загрязнения 3) поверхность изоляции может быть спроектирована с разделением длинных участков проводящих загрязнений, например, с помощью ребер и канавок (см. 5.3.3.7).

4.6 Изоляционный материал

4.6.1 Твердая изоляция

Понятие координации изоляции может быть реализована с помощью соответствующего изоляционного материала. На изоляционные свойства твердой изоляции напрямую влияют характеристики ее материала. Необходимо учитывать электрические, механические и другие воздействия, которые могут повлиять на характеристики изоляции в течение всего срока службы изделия.

Электрическая прочность твердой изоляции значительно превышает электрическую прочность воздуха, поэтому конструкции системы изоляции уделяют меньше внимания. При этом толщина твердого изоляционного материала, как правило, значительно меньше величины воздушных зазоров, в результате чего возникает высокая разность потенциалов (напряженность). Следует учитывать, что на практике редко используются материалы с высокой электрической прочностью. В изоляционных системах между токопроводящими частями и изоляцией и между различными слоями изоляции могут быть пустоты. В этих пустотах могут возникать частичные разряды при напряжениях, намного ниже уровня

пробоя, что существенно влияет на срок службы твердой изоляции. Возникновение частичных разрядов маловероятно при пиковых напряжениях ниже 500 В.

Такое же фундаментальное значение имеет и тот факт, что твердая изоляция, по сравнению с газами, не является восстанавливающейся изоляционной структурой, так что, например, высокие пиковые напряжения, которые иногда возникают, могут иметь очень разрушительный и необратимый эффект на твердую изоляцию. Такая ситуация может возникнуть во время эксплуатации и во время контрольных испытаний высоким напряжением.

4.6.2 Воздействия

4.6.2.1 Общие положения

В течение эксплуатации твердая изоляция подвергается электрическим и другим (например, тепловые, воздействия окружающей среды) вредным воздействиям, приводящим к ее старению.

С помощью краткосрочного испытания в сочетании с соответствующим кондиционированием* (см. 6.4.3) можно имитировать процесс длительной эксплуатации твердой изоляции.

Существует общая взаимосвязь между толщиной твердой изоляции и вышеупомянутыми механизмами, приводящими к разрушению. Уменьшение толщины твердой изоляции увеличивает напряженность поля и повышает риск разрушения. Из-за индивидуальных электрических характеристик материалов невозможно рассчитать требуемую толщину твердой изоляции. Работоспособность можно проверить только проведением испытания.

4.6.2.2 Механическое воздействие

В случае недостаточной ударной прочности механическое воздействие может вызвать разрушение изоляции. Разрушение вследствие механического воздействия также может произойти из-за снижения ударной прочности материалов:

- из-за того, что материал становится хрупким, когда температура опускается ниже температуры стеклования;
- после длительного воздействия высокой температуры, которое привело к выпотеванию пластификатора из полимерной матрицы или деструкции основного полимера.

Технические комитеты должны учитывать это при определении условий окружающей среды для транспортирования, хранения, установки и эксплуатации.

4.6.2.3 Частичные разряды (ЧР)

Некоторые типы твердой изоляции могут выдерживать разряды, а другие — нет. Напряжение, частота повторения разрядов и величина разряда являются важными параметрами.

Примечание — Керамические изоляторы обычно способны выдерживать частичные разряды.

На поведение частичных разрядов влияет частота приложенного напряжения. В результате ускоренных испытаний на долговечность при повышенной частоте установлено, что время до разрушения приблизительно обратно пропорционально частоте приложенного напряжения. Однако на практике было проверено воздействие частот только до 5 кГц, поскольку на более высоких частотах могут присутствовать другие механизмы разрушения, например диэлектрический нагрев.

4.6.2.4 Другие воздействия

Существует еще много других воздействий, которые могут повредить изоляцию, и их последствия должны рассматриваться техническими комитетами.

В качестве примеров такого воздействия могут быть:

- излучение как ультрафиолетовое, так и ионизирующее;
- растрескивание и крошение из-за воздействия растворителей или других активных химикатов;
- потеря пластификатора;
- воздействие бактерий, плесени или грибков;
- механическая ползучесть.

4.6.3 Сравнительный индекс трекингостойкости (СИТ)

4.6.3.1 Поведение изоляционного материала при наличии искрений

Что касается трекинга, изоляционный материал можно приблизительно охарактеризовать в соответствии с повреждениями, которым он подвергается в результате концентрированного выделения энергии во время искрений, когда поверхностному току утечки препятствует высыхание загрязненной поверхности. При наличии искрений изоляционный материал может вести себя следующим образом:

- разложение изоляционного материала;

* Также применяется термин «условия испытаний».

- износ изоляционного материала под действием электрических разрядов (электрическая эрозия);

- постепенное образование токопроводящих дорожек, которые образуются на поверхности изоляционного материала из-за комбинированного воздействия электрического напряжения и электрически проводящего загрязнения на поверхность (трекинг).

Примечание — Трекинг или эрозия происходят, когда:

- разрушается жидкостная пленка, несущая поверхностный ток утечки; и

- прикладываемого напряжения достаточно, чтобы уничтожить небольшой зазор, образовавшийся при разрыве пленки; и

- величина тока превысит предельное значение, которое неизбежно создаст необходимую энергию, термически разрушающую в определенном месте под пленкой изоляционный материал.

Износ увеличивается со временем протекания тока.

4.6.3.2 Значения сравнительного индекса трекингостойкости (СИТ) для классификации изоляционных материалов

Метода классификации изоляционных материалов согласно 4.6.3.1 не существует. Поведение изоляционного материала при различных загрязнениях и напряжениях чрезвычайно сложно. В этих условиях многие материалы могут демонстрировать две или даже все три указанные характеристики. Прямая корреляция с группами материалов из 5.3.2.4 нецелесообразна. Однако опыт и испытания показали, что изоляционные материалы, имеющие более высокие относительные характеристики, также имеют примерно такую же относительную градацию в соответствии со сравнительным индексом трекингостойкости (СИТ). Поэтому в данном стандарте для классификации изоляционных материалов используются значения сравнительного индекса трекингостойкости (СИТ).

4.6.3.3 Испытания для сравнительного индекса трекингостойкости (СИТ)

Испытание для сравнительного индекса трекингостойкости (СИТ) в соответствии с IEC 60112 разработано для сравнения характеристик различных изоляционных материалов в условиях испытаний. Он дает качественное сравнение, а в случае изоляционных материалов, склонных к образованию дорожек, он также дает количественное сравнение.

4.6.3.4 Материалы, не подверженные трекингу

Для стекла, керамики или других неорганических изоляционных материалов, которые не образуют дорожек, для целей координации изоляции расстояния утечки не должны быть больше, чем соответствующие воздушные зазоры.

4.7 Аспекты окружающей среды

4.7.1 Общие положения

Физическое или географическое расположение оборудования может существенно повлиять на систему изоляции. Факторы окружающей среды, такие как высота, температура, вибрация и относительная влажность, требуют рассмотрения, чтобы гарантировать, что координация изоляции останется надежной в течение всего срока службы оборудования.

4.7.2 Высота

Напряжение пробоя воздушного зазора согласно закону Пашена пропорционально произведению расстояния между электродами на атмосферное давление. Требуемые расстояния для воздушных зазоров в данном стандарте скорректированы в соответствии с разницей атмосферного давления между 2 000 м и уровнем моря для однородного и неоднородного поля. См. 5.2.3.4 для определения воздушных зазоров для высот более 2 000 м и 6.2.2.1.4 для определения воздушных зазоров на высотах, отличных от 2 000 м.

4.7.3 Воздействие температуры

Воздействие температуры может вызвать:

- механическую деформацию из-за внутреннего напряжения;

- размягчение термопластичных материалов;

- хрупкость некоторых материалов из-за выпотевания пластификатора;

- размягчение некоторых сшитых полимерных материалов, особенно при превышении температуры стеклования материала;

- увеличение диэлектрических потерь, ведущих к термической нестабильности и выходу из строя.

Высокие перепады температур, например при коротких замыканиях, могут вызвать механическое повреждение.

4.7.4 Вибрации

Механические воздействия, вызванные вибрацией или ударами во время работы, хранения или транспортирования, могут вызвать расслоение, растрескивание или разрушение изоляционного материала (см. 5.4.4.2).

4.7.5 Относительная влажность

Присутствие водяного пара может повлиять на сопротивление изоляции и напряжение пробоя изоляции, усилить эффект поверхностного загрязнения, вызвать коррозию и изменить размеры. Для некоторых материалов высокая относительная влажность значительно снижает электрическую прочность. Низкая относительная влажность может быть неблагоприятной при некоторых обстоятельствах, например, из-за увеличения удержания электростатического заряда и уменьшения механической прочности некоторых материалов, таких как полиамид.

4.8 Продолжительность воздействия напряжением

Продолжительность воздействия напряжением особенно сильно влияет на долговременное поведение изоляции для путей утечки и твердой изоляции. См. 5.3.3.4 для путей утечки.

Для воздушных зазоров, когда напряжение вызывает мгновенный пробой изоляции, продолжительность воздействия, как правило, не влияет на воздушные зазоры.

4.9 Распределение электрического поля

Распределение электрического поля влияет на электрическую прочность изоляции.

- Условия неоднородного поля с точечной конфигурацией расположения электродов являются наихудшим случаем с точки зрения способности выдерживать напряжение. Он выглядит как точечный электрод с радиусом 30 мкм и плоскостью 1 × 1 м (см. 3.1.27).
- Распределение однородного поля является наиболее благоприятным и теоретическим случаем, когда электрическое поле полностью однородно между двумя сферами (см. 3.1.26). Обычно для достижения однородного поля между двумя сферами радиус каждой сферы должен быть больше чем расстояние между ними. Условий однородного поля в реальной конструкции очень трудно достичь.

Фактически, распределение электрического поля обычно находится между однородным и неоднородным полем.

5 Проектирование координации изоляции

5.1 Общие положения

5.1.1 Средства координации изоляции

Проектирование координации изоляции должно быть реализовано посредством:

- воздушных зазоров (см. 5.2);
- путей утечки (см. 5.3); и
- твердой изоляции (см. 5.4)

и применяться к каждой отдельной рассматриваемой изоляции.

Требования для проектирования воздушных зазоров и путей утечки в 5.2 и 5.3 представляют собой минимальные расстояния, основанные на данных экспериментальных значений, как представлено в приложениях A и F. При проектировании необходимо учитывать технологические допуски.

Примечание — Согласно IEC 61140 требования к изолирующим устройствам применимы для категорий перенапряжения III и IV и не применимы для категорий I и II.

5.1.2 Частота больше 30 кГц

Требования к координации изоляции для оборудования низковольтных систем с номинальными частотами больше 30 кГц приведены в IEC 60664-4.

5.1.3 Уменьшение расстояний за счет покрытий или заливки компаундом

Требования к координации изоляции для оборудования низковольтных систем, использующих покрытия, заливку компаундом или опрессовки для защиты от загрязнений, позволяющих уменьшить воздушные зазоры и пути утечки, приведены в IEC 60664-3.

5.1.4 Оборудование, не подключаемое к низковольтным системам общего пользования

Координация изоляции применяется к оборудованию, которое подключено к низковольтным системам общего пользования. Однако рекомендуется использовать те же принципы для всех других низ-

ковольтных систем, которые не подключены к низковольтным системам общего пользования (IEC TR 60664-2-1).

5.2 Определение размеров воздушных зазоров

5.2.1 Общие положения

Размеры воздушных зазоров следует выбирать с учетом следующих влияющих технических характеристик:

- импульсное выдерживаемое напряжение (см. 5.2.2.2 и 5.2.2.3);
- временное перенапряжение, значение пикового напряжения (см. 5.2.2.4);
- установившееся пиковое напряжение или повторяющееся пиковое напряжение (см. 5.2.2.4);
- условия электрического поля (см. 5.2.3.2 и 5.2.3.3);
- высота (см. 5.2.3.4);
- степень загрязнения в микросреде (см. 5.2.3.5).

При механических воздействиях, таких как вибрация или приложенные усилия, могут быть назначены увеличенные значения воздушных зазоров.

См. приложение G (рисунок G.1) для руководства о том, как определить воздушный зазор на основе требования 5.2.1.

5.2.2 Критерии определения размеров воздушных зазоров

5.2.2.1 Общие положения

Воздушные зазоры должны быть таких размеров, чтобы выдерживать наибольшее из следующего:

- для цепей, непосредственно подключаемых к электрической сети, номинальное импульсное выдерживаемое напряжение определяется на основании 5.2.2.2 и 5.2.2.3;
- для установившегося пикового напряжения пиковое значение временного перенапряжения (см. 5.2.1) или повторяющееся пиковое напряжение определяется на основании 5.2.2.4.

5.2.2.2 Выбор номинального импульсного выдерживаемого напряжения оборудования

Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение оборудования выбирается по таблице F.1 в соответствии с указанной категорией перенапряжения и номинальным напряжением оборудования.

Примечание 1 — Оборудование с определенным номинальным импульсным выдерживаемым напряжением и имеющим более чем одно номинальное напряжение может быть пригодным для использования в различных категориях перенапряжения.

Примечание 2 — Для рассмотрения сторон коммутационного перенапряжения см. 4.2.2.4.

5.2.2.3 Определение размеров для выдерживания переходных перенапряжений

Воздушные зазоры должны быть таких размеров, чтобы выдерживать требуемое импульсное выдерживаемое напряжение в соответствии с таблицей F.2. Для цепей, непосредственно подключаемых к электрической сети, требуемым импульсным выдерживаемым напряжением является номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, установленное на основании 5.2.2.2.

5.2.2.4 Определение размеров для выдерживания установившихся пиковых напряжений, временных перенапряжений или повторяющихся пиковых напряжений

Воздушные зазоры должны быть таких размеров, как указано в таблице F.8, чтобы выдерживать установившиеся пиковые напряжения, пиковое значение временных перенапряжений или повторяющиеся пиковые напряжения.

5.2.3 Прочие факторы, влияющие на воздушные зазоры

5.2.3.1 Общие положения

Форма и расположение токопроводящих частей (электродов) влияют на однородность поля (см. 4.9) и, следовательно, на воздушный зазор, необходимый, чтобы выдержать заданное напряжение (см. таблицу F.2, таблицу F.8 и таблицу A.1).

Рекомендуется их проектировать для условий неоднородного поля в соответствии с 5.2.3.2 (случай A). Если они спроектированы для условий однородного поля (случай B), то применяется 5.2.3.3 (см. также 6.2.2.1).

5.2.3.2 Условия неоднородного поля (случай A из таблицы F.2)

Воздушные зазоры, не меньшие, чем указанные в таблице F.2 для условий неоднородного поля, могут использоваться независимо от формы и расположения токопроводящих частей и без проверки испытанием на выдерживаемое напряжение.

Воздушные зазоры через микротрещины в оболочке из изоляционного материала должны быть не меньше тех, которые указаны для условий неоднородного поля, поскольку конструкция не контролируется, что может отрицательно сказаться на однородности электрического поля.

5.2.3.3 Условия однородного поля (случай B из таблицы F.2)

Значения воздушных зазоров из таблицы F.2 для случая B применимы только для условий однородного поля. Они могут быть применены только когда форма и расположение токопроводящих частей спроектированы для достижения того, чтобы электрическое поле имело равномерный перепад напряжения.

Воздушные зазоры, меньшие, чем для условий неоднородного поля, требуют проверки испытанием на выдерживаемое напряжение (см. 6.2.2.1). Для малых значений воздушных зазоров однородность электрического поля может ухудшиться при наличии загрязнения, в результате чего необходимо увеличить воздушные зазоры больше значений для случая B (см. также рисунок A.2 и рисунок A.3).

5.2.3.4 Поправочный коэффициент

Воздушные зазоры, указанные в настоящем стандарте, действительны для высоты до 2 000 м.

Для высот больше 2 000 м следует использовать таблицу A.2 для определения поправочных коэффициентов для коррекции значений воздушных зазоров. См. также 6.2.2.1.4 для процедуры расчета поправочных коэффициентов для коррекции значений воздушных зазоров. Допускается линейная интерполяция между двумя соседними значениями из таблицы A.2.

Примечание — Это явление нелинейное, поэтому интерполяция значений между высотами лежит в области ответственности технических комитетов.

5.2.3.5 Степень загрязнения в микросреде

Воздушные зазоры выбираются из таблицы F.2 для степени загрязнения в микросреде в соответствии с 4.5.2. Степень загрязнения не оказывает сильного влияния на определение размеров воздушных зазоров. Однако не допускается пренебрежение ею для небольших воздушных зазоров, где такие загрязнения, как твердые частицы, пыль и конденсат, могут перекрыть воздушный зазор.

Минимальные значения воздушных зазоров для степеней загрязнения 2 и 3 указаны в таблице F.2.

5.2.4 Определение размеров воздушных зазоров для функциональной изоляции

Для воздушных зазоров для функциональной изоляции требуемым выдерживаемым напряжением является максимальное импульсное напряжение (со ссылкой на таблицу F.8) или установившееся пиковое напряжение (со ссылкой на таблицу F.8), которое ожидается на ней в условиях нормальной работы оборудования и, в частности, при номинальном напряжении и номинальном импульсном выдерживаемом напряжении (см. таблицу F.2).

Примечание — Для расстояний, равных или меньше чем 2 мм, в IEC TR 63040 указаны испытания и исследование влияющих параметров для определения расстояний по изоляции. Использование данного стандарта лежит в области ответственности технических комитетов.

5.2.5 Определение размеров воздушных зазоров для основной, дополнительной и усиленной изоляции

Воздушные зазоры для основной и дополнительной изоляции должны иметь размеры, как указано в таблице F.2, в соответствии с:

- номинальным импульсным выдерживаемым напряжением в соответствии с 4.2.2 или 5.2.2.2; или
- требуемыми выдерживаемыми напряжениями с учетом переходных перенапряжений, создаваемых непосредственно в оборудовании в соответствии с 4.2.2.4;

и как указано в таблице F.8, в соответствии с:

- пиковым значением временного перенапряжения в соответствии с 4.2.3;
- повторяющимся пиковым напряжением в соответствии с 4.2.4;
- установившимся пиковым напряжением в соответствии с 4.2.6.

Что касается импульсного выдерживаемого напряжения, то воздушные зазоры для усиленной изоляции должны иметь размеры, как указано в таблице F.2, в соответствии с номинальным импульсным выдерживаемым напряжением, но на одно значение больше из предпочтительного ряда значений в 4.2.2.1, чем указанная для основной изоляции. Если импульсное выдерживаемое напряжение, требуемое для основной изоляции согласно 4.2.2.1, отличается от значения, взятого из предпочтительного ряда, то усиленная изоляция должна иметь такие размеры, чтобы выдерживать 160 % импульсного выдерживаемого напряжения, требуемого для основной изоляции.

Примечание 1 — С точки зрения координации изоляции нет необходимости устанавливать воздушные зазоры выше минимально требуемых для заданного импульсного выдерживаемого напряжения. Тем не менее может возникнуть необходимость назначить увеличенные значения воздушных зазоров (например, при механических воздействиях) для иных целей, не связанных с координацией изоляции. В таких случаях испытательное напряжение основывается на номинальном импульсном напряжении оборудования, в противном случае доступная основная изоляция может оказаться под чрезмерным воздействием напряжения.

Что касается установившихся пиковых напряжений, повторяющихся пиковых напряжений и временных перенапряжений, то воздушные зазоры для усиленной изоляции должны иметь размеры, как указано в таблице F.8, чтобы выдерживать 160 % выдерживаемого напряжения, требуемого для основной изоляции.

Для оборудования с двойной изоляцией, где основная и дополнительная изоляция не могут быть испытаны отдельно, система изоляции считается усиленной изоляцией.

Примечание 2 — При определении размеров воздушных зазоров до доступных поверхностей из изоляционного материала предполагается, что такие поверхности покрыты металлической фольгой. Технические комитеты могут указывать более подробную информацию.

5.3 Определение размеров путей утечки

5.3.1 Общие положения

Для определения требуемых расстояний утечки необходимо учитывать следующие влияющие факторы:

- напряжение (см. 5.3.2.2);
- степень загрязнения (см. 5.3.2.3);
- группа материалов (см. 5.3.2.4);
- ориентация и расположение пути утечки (см. 5.3.3.2);
- форма изоляционной поверхности (см. 5.3.3.3);
- продолжительность воздействия напряжения (см. 5.3.3.4);
- больше чем один материал или степень загрязнения (см. 5.3.3.5);
- подвижная токопроводящая часть (см. 5.3.3.6);
- использование ребер (см. 5.3.3.7);
- компоненты, установленные на материале печатной платы (см. 5.3.3.8).

Для руководства о том, как определить путь утечки на основе требования 5.3 см. рисунок H.1 (приложение H).

Примечание — Значения в таблице F.5 основаны на существующих эмпирических данных и подходят для большинства применений. Однако для функциональной изоляции могут быть подходящими и значения путей утечки, отличные от указанных в таблице F.5.

5.3.2 Критерии определения размеров путей утечки

5.3.2.1 Общие положения

Длина пути утечки должна быть рассчитана таким образом, чтобы выдерживать длительное воздействие среднеквадратичного напряжения на рассматриваемой изоляции, а также с учетом степени загрязнения и группы материалов, для которой рассматривается путь утечки (см. 5.3.2.2—5.3.2.4). Другие факторы, рассматривающие профиль поверхности изоляционного материала, параметры материала и время нахождения под воздействием напряжения также необходимо принимать во внимание (см. 5.3.3).

5.3.2.2 Определение напряжения

Основой для определения пути утечки является длительное среднеквадратичное значение напряжения, присутствующее на нем. Это напряжение является наибольшим значением установившегося рабочего напряжения (см. 4.2.5), номинального напряжения изоляции или номинального напряжения. Для определения номинальных напряжений изоляции можно использовать таблицы F.3 и F.4.

Переходными перенапряжениями пренебрегают, поскольку они обычно не влияют на явление трекинга. Однако следует учитывать временные перенапряжения или любые перенапряжения, необходимые для функционирования устройства, если их продолжительность и частота возникновения могут влиять на трекинг (см. 5.3.3.4).

Для оборудования, имеющего несколько номинальных напряжений, так чтобы его можно было использовать при различных номинальных напряжениях электрической сети, выбранное напряжение должно соответствовать наибольшему номинальному напряжению оборудования.

Должно использоваться наибольшее установившееся рабочее напряжение, которое может возникнуть в системе, оборудовании или внутренних цепях. Напряжение определяется при работе на номинальном напряжении и в наихудших условиях эксплуатации в пределах номинальных характеристик оборудования. Условия неисправности не учитываются.

5.3.2.3 Определение степени загрязнения

Влияние степени загрязнения с учетом сочетания загрязнения и влажности в окружающей микросреде (см. 4.5.2) должно приниматься во внимание при определении длины путей утечки в соответствии с таблицей F.5.

Примечание — В оборудовании могут существовать различные условия окружающей микросреды.

5.3.2.4 Определение группы материалов

Для целей настоящего стандарта материалы классифицируются на четыре группы в соответствии с их значениями сравнительного индекса трекингостойкости (СИТ). Эти значения определены в соответствии с IEC 60112 при использовании раствора А. Существуют следующие группы:

- материал группы I: 600 ≤ СИТ;
- материал группы II: 400 ≤ СИТ < 600;
- материал группы IIIa: 175 ≤ СИТ < 400;
- материал группы IIIb: 100 ≤ СИТ < 175.

5.3.2.5 Зависимость между путем утечки и воздушным зазором

Длина пути утечки не может быть меньше, чем соответствующий воздушный зазор, поэтому наименьшая возможная длина пути утечки равна требуемому воздушному зазору. Однако между минимальным воздушным зазором и минимальным допустимым расстоянием утечки нет никакой физической зависимости, кроме ограничения размеров.

Пути утечки, меньшие, чем воздушные зазоры, требуемые для случая А из таблицы F.2, могут использоваться только в условиях степени загрязнения 1 и 2, когда путь утечки может выдерживать напряжение, требуемое для соответствующего зазора (см. таблицу F.2). Для испытаний см. 6.2.

5.3.3 Прочие факторы, влияющие на пути утечки

5.3.3.1 Общие положения

Технические комитеты должны учитывать прочие факторы, влияющие на длину пути утечки, например, ориентацию и профиль поверхности изоляционного материала. В случае особых факторов, влияющих на длину пути утечки, они должны быть приняты во внимание.

5.3.3.2 Ориентация путей утечки

При необходимости изготовитель должен указать предполагаемую ориентацию оборудования или компонента, чтобы пути утечки не подвергались неблагоприятному воздействию скопления загрязнений, для которых они не были разработаны.

5.3.3.3 Форма изоляционной поверхности

Формы изоляционных поверхностей оказывают значительное влияние на определение размеров путей утечки только для степени загрязнения 3. Предпочтительно, чтобы поверхность твердой изоляции имела поперечные ребра и канавки, чтобы нарушать непрерывность пути тока утечки, вызванного загрязнением. Аналогичным образом можно использовать ребра и канавки для отвода воды от изоляции, находящейся под электрическим напряжением. Следует избегать стыков или канавок, соединяющих проводящие части, поскольку они могут собирать загрязнения или удерживать воду.

5.3.3.4 Продолжительность воздействия напряжения

Продолжительность воздействия напряжения влияет на количество случаев, когда высыхание может привести к поверхностным искрениям с энергией, достаточно высокой, чтобы вызвать трекинг. Количество таких случаев считается достаточно большим, чтобы вызвать трекинг:

- в оборудовании, предназначенном для непрерывной эксплуатации, но не выделяющем достаточно тепла, чтобы поверхность изоляции оставалась сухой;
- в оборудовании, подвергающемся конденсации в течение продолжительных периодов времени, в течение которых оно часто включается и выключается;
- на стороне входа коммутационного устройства и между его фазными и нагрузочными контактными зажимами, которые подключены непосредственно к электрической сети.

Пути утечки, указанные в таблице F.5, были определены для изоляции, которая находится под воздействием напряжения в течение длительного периода времени.

Технические комитеты, отвечающие за оборудование, изоляция которого находится под воздействием напряжения только в течение короткого времени, могут рассмотреть возможность уменьшения путей утечки.

5.3.3.5 Пути утечки, когда используется более одного материала или применяется более одной степени загрязнения

Путь утечки может быть разделен на несколько частей из разных материалов и/или иметь разную степень загрязнения, если один из путей утечки имеет такую длину, чтобы выдерживать общее напряжение, или если общая длина определяется в соответствии с материалом, имеющим наименьший сравнительный индекс трекингостойкости (СИТ) и наибольшую степень загрязнения.

5.3.3.6 Пути утечки, разделяющие подвижные токопроводящие части

Пути утечки могут быть разделены на несколько частей, выполненных из одного и того же изоляционного материала, включающие или разделенные подвижными проводниками, при условии, что сумма расстояний по каждой отдельной части равна или превышает путь утечки, требуемый если бы подвижных частей не было. См. рисунок 14.

5.3.3.7 Уменьшение требуемых путей утечки за счет использования ребер

Требуемые пути утечки, равные или превышающие 8 мм, для степени загрязнения 3 могут быть уменьшены за счет использования ребер. Значения этих уменьшенных путей утечки — это значения, перечисленные в таблице F.5 в скобках (см. сноску d) таблицы F.5). Ребро должно иметь минимальную ширину *W* 20 % и минимальную высоту *H* 25 % от требуемого пути утечки, включая ребро, измеренное как на рисунке 2.

При выполнении на поверхности электроизоляционных деталей ребер (более одного ребра) допускается длину пути утечки определять по участкам, равным количеству выполненных ребер. Для каждого участка применяются требования предыдущего абзаца. Минимальное расстояние между несколькими ребрами должно быть равно минимальной ширине ребра, применяемой для каждого участка, измеренного от основания ребра.

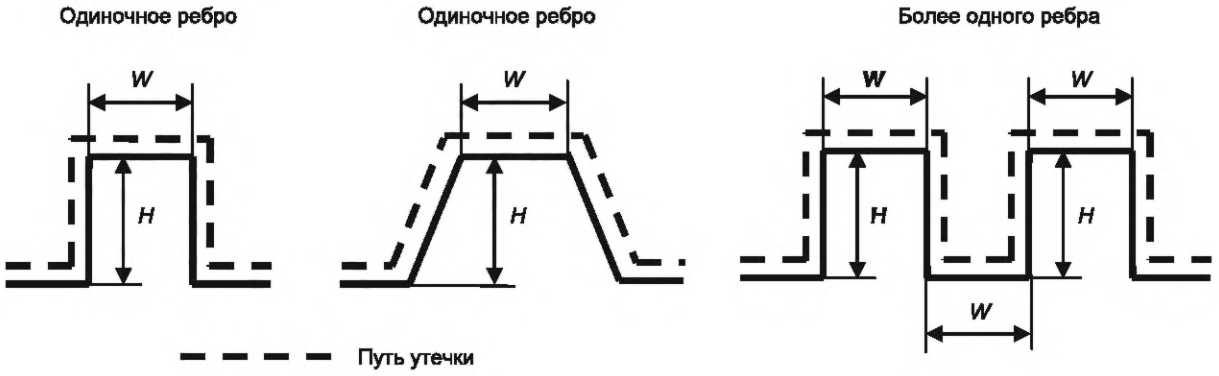


Рисунок 2 — Определение ширины *W* и высоты *H* ребра

5.3.3.8 Путь утечки через компонент, установленный на материале печатной платы

Для путей утечки на материале печатной платы, используемых только со степенью загрязнения 1 и 2, допускается уменьшение размеров, и они могут быть выбраны из таблицы F.5. Обратите внимание на возможное уменьшение или иную траекторию пути утечки из-за компонентов.

Использование уменьшенных значений размеров на материале печатной платы со степенью загрязнения 2 (столбец 3 таблицы F.5) для путей утечки может потребовать дополнительной защиты от загрязнения.

5.3.4 Определение длины путей утечки для функциональной изоляции

Пути утечки для функциональной изоляции могут быть рассчитаны, как указано в таблице F.5, в соответствии с установившимся рабочим напряжением по рассматриваемому пути утечки.

Примечание 1 — Значения таблицы F.5 могут быть использованы для функциональной изоляции, однако могут применяться другие значения путей утечки.

Примечание 2 — Для расстояний, равных или меньше чем 2 мм, в IEC TR 63040 указаны испытания и исследование влияющих параметров для определения расстояний по изоляции. Использование данного стандарта лежит в области ответственности технических комитетов.

Когда для определения размеров используется установившееся рабочее напряжение, допускается интерполировать значения для промежуточных напряжений. При интерполировании должна использоваться линейная интерполяция, а значения должны быть округлены до того же знака, что и значения, взятые из таблиц.

5.3.5 Определение длины путей утечки для основной, дополнительной и усиленной изоляции

Пути утечки для основной и дополнительной изоляции должны выбираться из таблицы F.5 для:

- рационализированных напряжений, указанных в столбцах 2 и 3 таблицы F.3 и столбцах 2, 3 и 4 таблицы F.4, соответствующих номинальному напряжению сети;
- номинального напряжения изоляции;
- напряжения, указанного в 4.2.5.

При использовании таблицы F.5 допускается интерполировать значения для промежуточных напряжений. При интерполировании должна использоваться линейная интерполяция, а значения должны быть округлены до того же знака, что и значения, взятые из таблиц.

Пути утечки для двойной изоляции складываются из значений основной и дополнительной изоляции, составляющих систему двойной изоляции.

Примечание 1 — Для дополнительной изоляции используемые степень загрязнения, изоляционный материал, механические воздействия и условия окружающей среды могут отличаться от указанных для основной изоляции.

Пути утечки для усиленной изоляции должны быть равны удвоенному значению пути утечки для основной изоляции.

Примечание 2 — При определении длины воздушных зазоров до доступных поверхностей из изоляционного материала предполагается, что такие поверхности покрыты металлической фольгой. Технические комитеты могут указывать более подробную информацию.

Сравнение минимальных значений воздушных зазоров и путей утечки, указанных в настоящем стандарте, — на рисунке Е.1 (приложение Е).

5.4 Требования для конструкции твердой изоляции

5.4.1 Общие положения

Твердая изоляция для основной, дополнительной и усиленной изоляции должна быть способна выдерживать электрические и механические воздействия, а также температурные воздействия и воздействия окружающей среды, которые могут возникнуть в течение предполагаемого срока службы оборудования.

Примечание — Пункт 5.4 не содержит требований к твердой изоляции, используемой в качестве функциональной изоляции.

Технические комитеты должны учитывать эти воздействия при определении условий для испытаний.

5.4.2 Воздействие напряжения

Твердая изоляция должна выдерживать воздействие напряжения, в том числе:

- переходных перенапряжений в соответствии с 5.4.3.1;
- временных выдерживаемых перенапряжений в соответствии с 5.4.3.2;
- повторяющимся пиковым напряжением в соответствии с 5.4.3.3;
- установившимся пиковым напряжением в соответствии с 5.4.3.4.

5.4.3 Устойчивость к воздействию напряжения

5.4.3.1 Переходные перенапряжения

Основная и дополнительная изоляция должна иметь:

- требование выдерживаемого импульсного напряжения, соответствующее номинальному напряжению электрической сети (см. 4.2.2.2) и соответствующей категории перенапряжения, как указано в таблице F.1; или;

- импульсное выдерживаемое напряжение внутренней цепи оборудования, которое было определено в соответствии с ожидаемыми в цепи переходными перенапряжениями (см. 4.2.2.4).

Усиленная изоляция должна иметь импульсное выдерживаемое напряжение в соответствии с номинальным импульсным выдерживаемым напряжением, но на одно значение больше из предпочтительного ряда значений в 4.2.2.1, чем указанная для основной изоляции. Если импульсное выдерживаемое напряжение, требуемое для основной изоляции согласно 4.2.2.1, отличается от значения, взятого из предпочтительного ряда, то усиленная изоляция должна иметь такие размеры, чтобы выдерживать 160 % импульсного выдерживаемого напряжения, требуемого для основной изоляции.

Для подтверждения путем испытания см. 6.4.4.

5.4.3.2 Временные выдерживаемые перенапряжения

Основная и усиленная изоляция твердой изоляции должны быть разработаны так, чтобы выдерживать следующие временные выдерживаемые перенапряжения:

- кратковременные временные перенапряжения U_0 + 1 200 В продолжительностью до 5 с;
- продолжительные временные перенапряжения U_0 + 250 В продолжительностью больше 5 с,

где U_0 — номинальное напряжение между фазой и нейтралью в системе питания с заземленной нейтралью.

Подтвержденные характеристики могут быть заявлены изготовителем как номинальное значение временного выдерживаемого перенапряжения.

Усиленная изоляция должна выдерживать удвоенное значение временных выдерживаемых перенапряжений, указанных для основной изоляции, кроме случаев, когда используется испытание на частичный разряд. Для испытания на частичный разряд применяют коэффициенты, указанные в 6.4.6.1.

Для подтверждения путем испытания см. 6.4.5.

Примечание 1 — Значения соответствуют IEC 60364-4-44:2007 (раздел 442).

Примечание 2 — Значения являются среднеквадратичными значениями напряжения.

5.4.3.3 Повторяющиеся пиковые напряжения

Максимальные повторяющиеся пиковые напряжения, возникающие в электрической сети, предварительно могут быть приняты равными $F_4 \cdot \sqrt{2}U_0$, т. е. в 1,1 раза больше пикового значения при U_0. При наличии повторяющихся пиковых напряжений затухающее напряжение частичного разряда должно быть не менее:

- $F_1 \cdot F_4 \cdot \sqrt{2}U_0$ т. е. 1,32 $\sqrt{2}U_0$ для каждой основной и дополнительной изоляции;
- $F_1 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot \sqrt{2}U_0$ т. е. 1,65 $\sqrt{2}U_0$ для усиленной изоляции.

Примечание — $\sqrt{2}U_0$ — в системах с заземленной нейтралью пиковое значение основного (неискаженного) напряжения между фазой и нейтралью при номинальном напряжении электрической сети. Применение поправочных коэффициентов, используемых в этом подпункте, установлено в приложении D.

Объяснение коэффициентов F см. в 6.4.6.1.

Во внутренних цепях вместо $F_4 \cdot \sqrt{2}U_0$ следует оценивать наибольшие повторяющиеся пиковые напряжения, а твердая изоляция должна отвечать соответствующим требованиям.

Для подтверждения путем испытания см. 6.4.6.

5.4.3.4 Установившиеся напряжения

Установившееся рабочее напряжение и установившееся пиковое напряжение представляют собой длительное воздействие напряжения, приложенное к твердой изоляции.

В тех случаях когда установившиеся рабочие напряжения не являются синусоидальными с повторяющимися пиковыми напряжениями или установившимися пиковыми напряжениями, см. рисунок 1, особое внимание следует уделять возможному возникновению частичных разрядов. Аналогичным образом, там, где могут существовать изоляционные слои и где могут существовать пустоты в опрессованной изоляции, следует учитывать возможное возникновение частичных разрядов с последующим ухудшением качества твердой изоляции.

Для подтверждения путем испытания см. 6.4.6.

5.4.4 Устойчивость к воздействию окружающей среды

5.4.4.1 Устойчивость к кратковременным тепловым воздействиям

Твердая изоляция не должна иметь повреждений вследствие кратковременных тепловых воздействий, которые могут возникнуть при нормальной и, при необходимости, ненормальной эксплуатации. Технические комитеты должны определять степени жесткости.

Примечание — Стандартные степени жесткости указаны в IEC 60068 (все части).

5.4.4.2 Устойчивость к механическим воздействиям

Твердая изоляция не должна иметь повреждений вследствие механической вибрации или ударов, которые могут возникнуть при эксплуатации. Технические комитеты должны определять степени жесткости.

Примечание — Стандартные степени жесткости указаны в IEC 60068 (все части).

5.4.4.3 Устойчивость к длительным тепловым воздействиям

Ухудшение твердой изоляции вследствие воздействия температуры не должно ухудшать координацию изоляции в течение предполагаемого срока службы оборудования. Технические комитеты должны определять необходимость проведения испытания.

Примечание — См. также IEC 60085 и IEC 60216 (все части).

5.4.4.4 Устойчивость к воздействию относительной влажности

Координация изоляции должна сохраняться в условиях относительной влажности, указанных для оборудования (см. также 6.4.3).

5.4.4.5 Другие факторы, влияющие на твердую изоляцию

Оборудование может подвергаться другим воздействиям, например, как указано в 4.6.2.4, которые могут негативно повлиять на твердую изоляцию. Технические комитеты должны определять такие воздействия и указывать методы испытаний.

6 Испытания и измерения

6.1 Общие положения

Следующие испытательные процедуры, применяемые для типовых испытаний, допускают возможный износ испытуемого образца. Предполагается, что испытательный образец не предназначен для дальнейшего использования.

Процедуры проверки указаны для:

- проверки воздушных зазоров (см. 6.2);
- проверки путей утечки (см. 6.3);
- проверки твердой изоляции (см. 6.4);
- проведения испытаний изоляционных свойств на комплектном оборудовании (см. 6.5);
- других испытаний (см. 6.6).

Технические комитеты должны рассмотреть вопрос о том, следует ли проводить выборочные или контрольные испытания в дополнение к типовым испытаниям, и указать необходимые испытания, которые должны быть выполнены в качестве выборочных и контрольных испытаний, чтобы обеспечить качество изоляционной системы в процессе производства. Испытания и кондиционирование, при необходимости, должны быть указаны с параметрами, необходимыми для обнаружения неисправностей без повреждения изоляции (см. 6.6.2).

6.2 Проверка воздушных зазоров

6.2.1 Общие положения

При проверке воздушных зазоров следует учитывать два случая:

- для значений в соответствии со случаем А из таблицы F.2 требуется проверка согласно 6.8, а дальнейшая проверка посредством испытания напряжением не требуется;
- значения, меньшие, чем значения для случая А, и большие, чем значения для случая В из таблицы F.2, должны быть подтверждены испытанием импульсным напряжением в соответствии с 6.2.2.1.

Для зазоров воздействия, вызванные переходными перенапряжениями, оцениваются путем проведения испытания импульсным напряжением, которое может быть заменено на испытание напряжением переменного или постоянного тока. См. 6.2.2.1.3. Если устойчивость к установившимся рабочим напряжениям, повторяющимся пиковым напряжениям или пиковым значениям временных перенапряжений в соответствии с 5.2.2.4 является решающей для определения размеров воздушных зазоров и если эти воздушные зазоры меньше, чем значения для случая А из таблицы F.8, то требуется испытание напряжением переменного тока в соответствии с 6.2.2.1.3.2.

При проверке воздушных зазоров внутри оборудования путем проведения испытания импульсным напряжением необходимо убедиться, что указанное импульсное напряжение появляется на проверяемом воздушном зазоре.

Примечание 1 — Электрические испытания воздушных зазоров также будут оказывать воздействие на связанную с ними твердую изоляцию.

Примечание 2 — В некоторых случаях эти испытания также применяются для путей утечки, см. 5.3.2.5.

Примечание 3 — При проведении испытаний на полностью готовом оборудовании см. 6.5.

6.2.2 Испытательные напряжения

6.2.2.1 Испытания изоляционных свойств импульсным напряжением

6.2.2.1.1 Общие положения

Целью данного испытания является подтверждение того, что воздушные зазоры выдерживают указанные переходные перенапряжения. Испытание на выдерживание импульсного напряжения проводят на напряжении, имеющем форму волны 1,2/50 мкс со значениями, указанными в таблице F.6. Для формы волны применяется IEC 61180:2016 (пункт 7.1). Он предназначен для моделирования перенапряжений, происходящих в окружающей среде, а также перенапряжения возникающих вследствие коммутационных процессов низковольтного оборудования.

Из-за разброса результатов испытаний разных испытательных импульсов испытание должно проводиться как минимум тремя импульсами для каждой полярности с интервалом не менее 1 с между импульсами.

Полное выходное сопротивление генератора импульсов не должно превышать 500 Ом. При проведении испытаний оборудования, в состав которого входят компоненты, через которые проходит испытательная цепь, можно указать гораздо более низкое полное сопротивление генератора виртуальных импульсов (см. IEC 61000-4-5:2014). В таких случаях при определении значений испытательного напряжения должны быть приняты во внимание возможные эффекты резонанса, которые могут увеличить пиковое значение испытательного напряжения.

Технические комитеты могут указать альтернативные испытания изоляционных свойств в соответствии с 6.2.2.1.3.

Примечание — Значения, приведенные в таблице F.6, получены из расчета в 6.2.2.1.4. Для достоверности информации они даны с высокой степенью точности. Для практического применения технические комитеты могут округлить эти значения.

6.2.2.1.2 Выбор импульсного испытательного напряжения

Если требуется электрическое испытание для координации изоляции оборудования в отношении воздушных зазоров со значениями меньше чем для случая А, как указано в таблице F.2, оборудование должно быть испытано импульсным испытательным напряжением, соответствующим номинальному импульсному выдерживаемому напряжению, указанному в соответствии с 5.2.2.3. Применяются импульсные испытательные напряжения, указанные в таблице F.6. Для испытаний импульсным напряжением на высотах, отличных от 2 000 м, см. 6.2.2.1.4.

Для условий проведения испытания технические комитеты должны указать значения температуры и относительной влажности.

6.2.2.1.3 Альтернатива испытаниям изоляционных свойств импульсным напряжением

6.2.2.1.3.1 Общие положения

В качестве альтернативного метода технические комитеты могут указать испытание напряжением переменного или постоянного тока для конкретного оборудования.

Хотя испытания напряжением переменного и постоянного тока, имеющим такое же пиковое значение, как и импульсное испытательное напряжение, указанное в таблице F.6, подтверждают выдерживаемую способность воздушных зазоров, они подвергаются более высокому воздействию на твердую изоляцию, поскольку напряжение прикладывается в течение более длительного времени. Они могут перегрузить и повредить твердую изоляцию. Поэтому технические комитеты должны учитывать это при определении испытаний напряжением переменного или постоянного тока в качестве альтернативы испытанию импульсным напряжением, указанному в 6.4.5.

Хотя испытание воздушных зазоров импульсным напряжением возможно заменить на испытание напряжением переменного или постоянного тока, испытание напряжением переменного тока для твердой изоляции в принципе невозможно заменить испытанием импульсным напряжением. Основными

причинами этого являются разное распространение импульсных напряжений по сравнению с напряжениями промышленной частоты, особенно в сложных схемах, а также зависимость характеристик устойчивости твердой изоляции от формы и продолжительности воздействия напряжения.

6.2.2.1.3.2 Испытания изоляционных свойств напряжением переменного тока

Форма волны синусоидального испытательного напряжения промышленной частоты должна быть в основном синусоидальной. Это требование выполняется, если соотношение между пиковым и среднеквадратичным значением равно $\sqrt{2}$ с отклонением ± 3 %. Пиковое значение должно быть равно импульсному испытательному напряжению, указанному в таблице F.6, и применяться для трех циклов испытательного напряжения переменного тока.

6.2.2.1.3.3 Испытания изоляционных свойств напряжением постоянного тока

Испытательное напряжение постоянного тока в основном должно быть без пульсаций. Это требование выполняется, если соотношение между пиковыми значениями напряжения и средним значением составляет 1,0 с отклонением ±3 %. Среднее значение испытательного напряжения постоянного тока должно быть равно импульсному испытательному напряжению, указанному в таблице F.6, и применяться три раза в течение 10 мс для каждой полярности.

6.2.2.1.4 Поправочный коэффициент для испытания на высотах, отличных от 2 000 м

Согласно 5.2.3.4 воздушные зазоры действительны для оборудования, используемого на высоте до 2 000 м над уровнем моря. На высоте 2 000 м нормальное атмосферное давление составляет 80 кПа, а на уровне моря — 101,3 кПа. См. также 4.7.2.

Из-за зависимости от атмосферного давления воздуха зазоры, испытанные в соответствии с 6.2.2.1, испытывают с использованием более высоких импульсных испытательных напряжений в местах ниже 2 000 м. В таблице F.6 приведены значения импульсного испытательного напряжения для подтверждения соответствия воздушных зазоров на высотах ниже 2 000 м.

Для целей испытаний факторы температуры, относительной влажности и климатических изменений давления воздуха не принимаются во внимание при наличии нормальных лабораторных условий.

Нормальные лабораторные условия указаны в IEC 60068-1:

- температура: от 15 °С до 35 °С;
- давление воздуха: от 86 до 106 кПа на уровне моря;
- относительная влажность: от 25 % до 75 %.

Основа для расчета значений уровня моря и данных для определения значений для испытаний для других мест испытаний следующая.

Поправочные коэффициенты, приведенные в таблице А.2, учитываются по отношению к кривой на рисунке А.1. Соотношение следующее:

$$k_u = \left(\frac{1}{k_d}\right)^m, \quad (1)$$

где k_u — поправочный коэффициент для изменения выдерживаемого напряжения;

k_d — поправочный коэффициент для изменения воздушных зазоров (см. таблицу F.10);

m — наклон соответствующей прямой линии на кривой 1 на рисунке А.1 (логарифмические шкалы на двух осях координат) и имеет значение:

m = 0,9163	для 0,001	< d < 0,01 мм
m = 0,3305	для 0,01	≤ d ≤ 0,0625 мм
m = 0,6361	для 0,0625	< d ≤ 1 мм
m = 0,8539	для 1	< d ≤ 10 мм
m = 0,9243	для 10	< d ≤ 100 мм,

где d — рассматриваемый воздушный зазор в миллиметрах.

Применение поправочного коэффициента для изменения воздушного зазора приведено на кривой 1 на рисунке А.1, для расстояния, напряжения будут меняться с пятью различными шагами только за один шаг сдвига. Математическая формула для расчета приведена выше. Таблица F.6 включает этот расчет в соответствии с описанием.

Другими словами, каждое значение k_d (поправочный коэффициент для изменения воздушных зазоров) будет давать пять различных значений k_u (поправочный коэффициент для изменения выдерживаемого напряжения) на основе пяти различных наклонов (m) выдерживаемого напряжения как функции воздушного зазора (m имеет различное значение для каждого из пяти диапазонов воздушного зазора, как указано выше).

6.3 Проверка путей утечки

Соответствие путей утечки проверяется согласно 6.8.

В некоторых случаях также должны проводиться испытания путей утечки, см. 5.3.2.5.

6.4 Проверка твердой изоляции

6.4.1 Общие положения

В любом случае способность твердой изоляции выдерживать воздействия напряжения необходимо проверять испытанием напряжением. Воздействия, вызванные переходными перенапряжениями, оценивают испытанием импульсным напряжением по 6.4.4. Воздействия, вызванные установившимся рабочим напряжением переменного тока, можно оценить только испытанием напряжением переменного тока (см. 6.4.5). Испытание напряжением постоянного тока по 6.4.7 с испытательным напряжением, равным пиковому значению напряжения переменного тока, не полностью эквивалентно испытанию напряжением переменного тока по 6.4.5 из-за различных характеристик устойчивости твердой изоляции для этих типов напряжений. Однако в случае воздействия эталонного напряжения постоянного тока подходит испытание напряжением постоянного тока в соответствии с 6.4.7.

6.4.2 Выбор испытаний

Твердая изоляция, которая может подвергаться механическим воздействиям во время эксплуатации, хранения, транспортировании или установки, перед испытаниями изоляционных свойств должна быть испытана на вибрацию и механический удар. Технические комитеты могут устанавливать методы испытаний.

Типовые испытания являются испытаниями для координации изоляции. Технические комитеты должны устанавливать требуемые типовые испытания для имитации соответствующих электрических и механических воздействий, которые возникают в оборудовании в процессе его работы.

Примечание 1 — Стандартные степени жесткости указаны в IEC 60068 (все части).

Испытания двойной изоляции проводят на образце:

- когда два типа изоляции могут быть испытаны отдельно, для проверки основной изоляции должны быть выполнены два измерения, а затем два — для дополнительной изоляции;
- когда два типа изоляции не могут быть испытаны отдельно, для проверки двух последовательно соединенных слоев изоляции необходимо провести одно измерение испытательным напряжением как для усиленной изоляции.

Примечание 2 — В случае большого различия в значениях между двумя емкостями на каждой изоляции ограничение для данного испытания может быть больше, чем напряжение для основной изоляции на одной из двух типов изоляций. Это может потребовать либо увеличения размера одной изоляции, либо уравновешивания значений емкостей на каждой изоляции.

Испытания для координации изоляции являются типовыми испытаниями. Они состоят из следующих видов:

a) испытание импульсным выдерживаемым напряжением для подтверждения способности твердой изоляции выдерживать номинальное импульсное выдерживаемое напряжение (см. 5.4.3.1);

b) испытание напряжением переменного тока для подтверждения способности твердой изоляции выдерживать:

- кратковременные временные перенапряжения (см. 5.4.3.2);
- повторяющееся пиковое напряжение (см. 5.4.3.3);
- установившееся рабочее напряжение (см. 5.4.3.4);
- установившееся пиковое напряжение (см. 5.4.3.4).

Если пиковое значение испытательного напряжения переменного тока равно или превышает номинальное импульсное выдерживаемое напряжение, то испытание импульсным напряжением покрывается испытанием напряжением переменного тока.

Твердая изоляция имеет другие характеристики устойчивости по сравнению с воздушными зазорами. Если время воздействия увеличивается, выдерживающая способность будет значительно снижаться. Следовательно, испытание напряжением переменного тока, которое предназначено для проверки соответствия выдерживающей способности твердой изоляции, не допускается заменять испытанием импульсным напряжением.

c) Испытание частичным разрядом для подтверждения того, что в твердой изоляции не наблюдается частичных разрядов при:

- пиковом значении длительного временного перенапряжения (см. 5.4.3.2);
- повторяющемся пиковом напряжении (см. 5.4.3.3);
- установившемся рабочем напряжении (см. 5.4.3.4);
- установившемся пиковом напряжении (см. 5.4.3.4).

d) Испытания напряжением высокой частоты для частот выше 30 кГц предназначены для подтверждения отсутствия отказов из-за электрического нагрева и частичного разряда в соответствии с 6.4.8.

Примечание 3 — Информация о характеристиках устойчивости изоляции при частотах выше 30 кГц и методы испытания указаны в IEC 60664-4.

Испытания частичным разрядом твердой изоляции должны быть указаны, если пиковое значение напряжений из перечисления c) превышает 700 В и средняя напряженность поля превышает 1 кВ/мм. Средняя напряженность поля — это пиковое напряжение, деленное на расстояние между двумя точками с разным потенциалом.

При проведении испытания на полностью готовом оборудовании применяется процедура в соответствии с 6.5.

Технические комитеты должны указать, достаточно ли проведения испытания напряжением переменного тока для соответствия импульсному испытанию твердой изоляции или требуется отдельное испытание твердой изоляции импульсным напряжением.

6.4.3 Кондиционирование

Если нет других указаний, испытание должно проводиться на новом испытательном образце. Кондиционирование образца температурой и относительной влажностью предназначено для:

- представления наиболее жестких условий нормальной эксплуатации;
- выявления возможных слабых мест, которые не присутствуют в новых условиях.

Технические комитеты должны определить соответствующий метод кондиционирования из следующих рекомендуемых методов:

a) сухое тепло (IEC 60068-2-2) для достижения устойчивого состояния, которого может не быть сразу после изготовления;

b) изменение температуры с заданной скоростью изменения (испытание Nb IEC 60068-2-14:2009), для того чтобы вызвать образование пустот, которые могут образоваться при хранении, транспортировании и нормальном использовании;

c) тепловой удар (быстрое изменение температуры с заданным временем перехода, испытание Na по IEC 60068-2-14:2009), для того чтобы вызвать расслоение внутри изоляционной системы, которое может образоваться при хранении, транспортировании и нормальном использовании;

d) влажное тепло, постоянный режим (IEC 60068-2-78) для оценки воздействия эффекта поглощения влаги на электрические свойства твердой изоляции.

Для испытаний на импульсное выдерживаемое напряжение, напряжение переменного тока промышленной частоты и высокочастотное напряжение наиболее важными методами кондиционирования являются методы, указанные в a) и d). Для испытания на частичный разряд наиболее актуальны методы кондиционирования b) и c).

Если требуется кондиционирование твердой изоляции оно должно быть выполнено до типовых испытаний. Значения температуры, относительной влажности и времени воздействия выбираются из таблицы F.7. При необходимости технические комитеты могут указать значения более высокой жесткости.

Перед электрическими испытаниями может оказаться целесообразным подвергнуть кондиционированию компоненты, например, электрические части, узлы, изоляционные детали и материалы. Если компоненты уже прошли типовые испытания согласно 6.4.3, такое кондиционирование не требуется.

6.4.4 Испытание импульсным напряжением

6.4.4.1 Метод испытания

Методы для испытания импульсным напряжением по 6.2.2.1 также применяются и к твердой изоляции, за исключением того, что поправочные коэффициенты, перечисленные в таблице F.6, не применяют. Испытание проводят пятью импульсами каждой полярности с интервалом не менее 1 с между импульсами. Форма волны каждого импульса должна быть записана (см. 6.4.4.2).

6.4.4.2 Применяемый критерий

Во время испытания не должно происходить перекрытия или единичного пробоя твердой изоляции, но допускаются отдельные частичные разряды. Единичные пробои должны быть видны на результирующей форме волны. При последующих импульсах единичные пробои будут происходить раньше.

Примечание — В пустотах могут происходить частичные пробои крайне малой длительности, которые могут повторяться в течение воздействия импульса.

6.4.5 Испытание напряжением переменного тока промышленной частоты

6.4.5.1 Метод испытания

Форма волны испытательного напряжения промышленной частоты должна быть синусоидальной. Это требование выполняется, если соотношение между пиковым и среднеквадратичным значением равно $\sqrt{2}$ с отклонением ±3 %. Пиковое значение должно быть равно наибольшему из напряжений, указанных в перечислении b) 6.4.2.

Для основной и дополнительной изоляции испытательное напряжение имеет такое же значение, как и напряжения, указанные в перечислении b) 6.4.2. Для усиленной изоляции применяется испытательное напряжение в два раза больше значения, используемого для основной изоляции.

Испытательное напряжение переменного тока должно равномерно повышаться с 0 В до значения, указанного в 5.4.3.2, в течение не более 5 с и удерживаться на этом значении не менее 60 с.

В тех случаях когда кратковременное перенапряжение устанавливает строгие требования в отношении амплитуды испытательного напряжения, уменьшение продолжительности испытания до минимального значения, равного 5 с, должно быть рассмотрено техническими комитетами.

Примечание 1 — Для определенных типов изоляции могут потребоваться более длительные периоды испытаний для выявления слабых мест внутри твердой изоляции.

Примечание 2 — При испытаниях для высоких установившихся воздействий, включая высокое повторяющееся пиковое напряжение, технические комитеты могут рассмотреть вопрос о введении запаса прочности на испытательное напряжение.

В случаях если испытательное напряжение переменного тока необходимо заменить испытательным напряжением постоянного тока, значение которого равно пиковому значению напряжения переменного тока, однако это испытание должно быть менее жестким, чем испытание напряжением переменного тока. Технические комитеты должны рассмотреть эту ситуацию (см. 6.4.7).

Испытательное оборудование должно соответствовать IEC 61180:2016.

6.4.5.2 Применяемый критерий

Не должно произойти пробоя твердой изоляции.

6.4.6 Испытание на частичный разряд

6.4.6.1 Метод испытания

Испытательное оборудование должно соответствовать IEC 61180, а форма сигнала напряжения определена в IEC 61180:2016 (пункт 6.1.1.1). Испытательное напряжение частичного разряда должно быть равно наибольшему из напряжений, указанному в перечислении c) 6.4.2, с учетом поправочных коэффициентов F_1, F_3 и F_4, насколько это применимо. Результирующее значение показано на рисунке 3 как $U_{\text{исп.напр}}$.

Методы испытания на частичный разряд указаны в приложении C. При проведении испытания применяют поправочные коэффициенты F_1—F_4. Использование этих коэффициентов приведено в качестве примера для повторяющегося пикового напряжения $U_{\text{гр}}$, см. также приложение D. Таким же образом коэффициенты должны применяться к установившемуся пиковому напряжению и пиковому значению длительного временного перенапряжения.

При испытании на частичный разряд пиковое значение актуально, необходимо преобразовать среднеквадратичное значение временного перенапряжения в пиковое значение.

F_1 — основной коэффициент безопасности для испытания на частичный разряд и определения размеров основной и дополнительной изоляции.

Затухающее напряжение частичного разряда может зависеть от условий окружающей среды, например от температуры. Эти влияния учитываются основным коэффициентом безопасности F_1, равным 1,2. Таким образом, затухающее напряжение частичного разряда для основной или дополнительной изоляции составляет не менее 1,2 $U_{гр}$.

F_2 — коэффициент запаздывания частичного разряда по причине потерь на гистерезисе.

Запаздывание возникает между начальным напряжением частичного разряда и затухающим напряжением частичного разряда. Практический опыт показывает, что F_2 не превышает 1,25. Таким образом, для основной и дополнительной изоляции начальное значение испытательного напряжения равно $F_1 \cdot F_2 \cdot U_{гр}$, то есть $1,2 \cdot 1,25\ U_{гр} = 1,5\ U_{гр}$.

Примечание — При этом учитывается, что частичные разряды могут быть инициированы переходными перенапряжениями, превышающими начальное напряжение частичного разряда, и могут поддерживаться, например, значениями повторяющегося пикового напряжения, превышающими затухающее напряжение частичных разрядов. В этой ситуации для испытания может потребоваться комбинация импульсного напряжения и напряжения переменного тока, что непрактично. Поэтому испытание напряжением переменного тока выполняют в качестве начального при испытаниях повышенными напряжениями.

F_3 — дополнительный коэффициент безопасности для испытания на частичный разряд и определения размеров усиленной изоляции.

Для усиленной изоляции требуется более строгая оценка рисков. Следовательно, требуется дополнительный коэффициент безопасности F_3, равный 1,25. Начальное значение испытательного напряжения равно $F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot U_{гр}$, то есть $1,2 \cdot 1,25 \cdot 1,25\ U_{гр} = 1,875\ U_{гр}$.

F_4 — коэффициент, учитывающий отклонение от номинального напряжения электрической сети U_0.

Для цепей, подключенных к электрической сети, этот коэффициент учитывает максимальное отклонение напряжения электрической сети от номинального значения. Следовательно, при номинальном напряжении U_0 пиковое напряжение должно быть умножено на $F_4 = 1,1$.

6.4.6.2 Проверка требований

Испытание подтверждает, что частичные разряды не поддерживаются при наибольших значениях, указанных в перечислении с) 6.4.2.

Примечание — Кроме того, для случаев когда представляют интерес фактические значения начального напряжения частичного разряда и затухающее напряжение частичного разряда, процедура измерения описана в разделе D.1.

При проведении испытаний испытание на частичный разряд, как правило, применяется к компонентам, небольшим сборочным узлам и небольшому оборудованию.

Минимальное необходимое затухающее напряжение разряда должно быть в F_1 раз больше, чем наибольшее из напряжений, указанных в перечислении с) 6.4.2.

В зависимости от типа испытательного образца технические комитеты должны указать:

- схему испытания (см. раздел С.1);
- измерительное оборудование (см. разделы С.3 и D.2);
- частоту измерения (см. С.3.1 и D.3.4);
- процедуру испытания (см. 6.4.6.3).

6.4.6.3 Процедура испытания

Значения испытательных напряжений и применение различных коэффициентов показаны в 6.4.6.1. Напряжение должно равномерно повышаться от 0 В до начального испытательного напряжения. Затем оно поддерживается постоянным в течение заданного времени t_1, не превышающего 5 с. Если частичных разрядов не произошло, после времени t_1 испытательное напряжение снижается до нуля. Если произошел частичный разряд, напряжение понижают до испытательного напряжения U_t, которое поддерживается постоянным в течение заданного времени t_2, пока не будет измерена величина частичного разряда (см. рисунок 3).

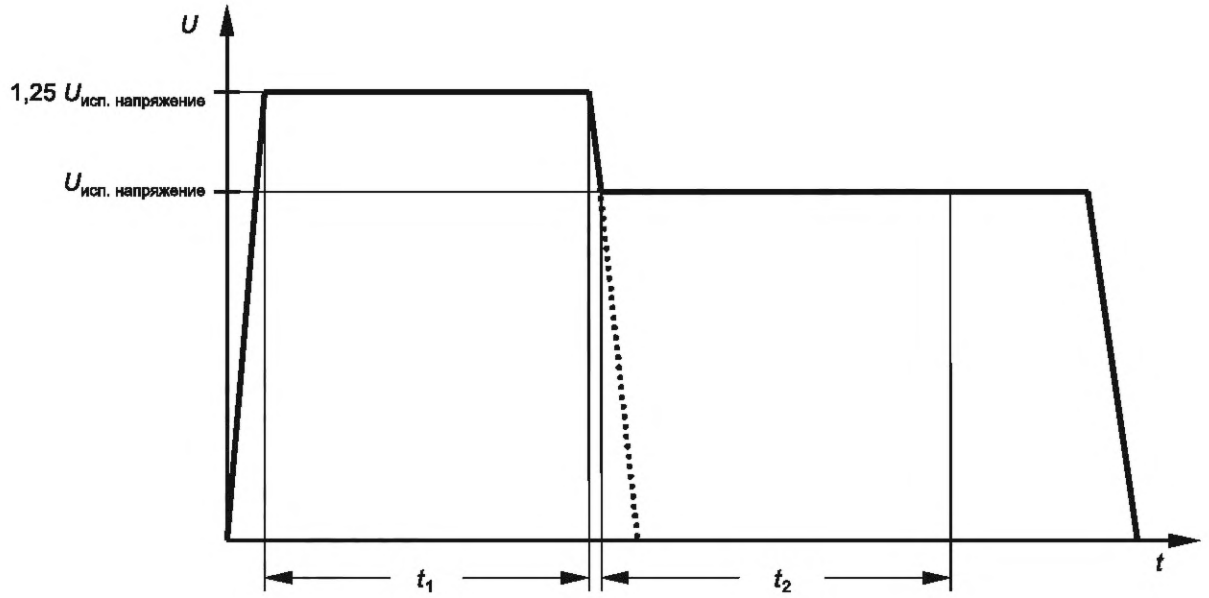


Рисунок 3 — Испытательные напряжения

6.4.6.4 Применяемый критерий

6.4.6.4.1 Заданная величина разряда

Поскольку цель состоит в том, чтобы не допускать непрерывных частичных разрядов при нормальных условиях эксплуатации, то должно быть указано минимально возможное значение (см. приложение D).

Примечание 1 — За исключением разрядов, вызванных коронным электрическим разрядом в воздухе (например, в неопрессованных трансформаторах), значения, превышающие 10 пКл, не являются допустимыми.

Примечание 2 — Для имеющихся в настоящее время приборов возможны значения до 2 пКл.

Уровень помех не должен исключаться из показаний измерителя частичных разрядов.

6.4.6.4.2 Результат испытания

Твердая изоляция соответствует, если:

- не произошло пробоя изоляции; и
- во время приложения испытательного напряжения не произошло частичных разрядов либо после времени t_2 разряд не превышает заданную величину.

6.4.7 Испытание напряжением постоянного тока

Испытание напряжением постоянного тока со значением испытательного напряжения, равного пиковому значению напряжения переменного тока, не полностью равнозначно испытанию напряжением переменного тока из-за разных характеристик устойчивости твердой изоляции для этих типов напряжений (см. 6.4.5.1). Однако в случае воздействия эталонного напряжения постоянного тока подходит испытание напряжением постоянного тока.

Испытательное напряжение постоянного тока не должно содержать пульсации. Это требование выполняется, если соотношение между пиковыми значениями напряжения и средним значением составляет 1,0 с отклонением ± 3 %. Среднее значение испытательного напряжения постоянного тока должно быть равно пиковому значению испытательного напряжения переменного тока, указанному в перечислении b) 6.4.2.

Для основной и дополнительной изоляции испытательное напряжение имеет такое же значение, как и напряжения, указанные в перечислении b) 6.4.2. Для усиленной изоляции применяется испытательное напряжение, которое в два раза больше значения, используемого для основной изоляции.

Испытательное напряжение постоянного тока должно равномерно повышаться с 0 В до значения, указанного в 5.4.3.2, в течение не более 5 с и поддерживаться на этом значении не менее 60 с.

В тех случаях когда кратковременное временное перенапряжение требует назначения самых строгих требований в отношении амплитуды испытательного напряжения, технические комитеты могут

рассмотреть вопрос об уменьшении продолжительности испытания до минимального значения, равного 5 с.

Примечание 1 — В некоторых случаях из-за конденсаторов зарядный ток может быть слишком высоким и может потребоваться более длительное время нарастания.

Испытательное оборудование указано в IEC 61180. Рекомендуется, чтобы выходной ток короткого замыкания генератора был не менее 200 мА.

Примечание 2 — Для испытательных напряжений больше 3 кВ достаточно, чтобы номинальная мощность испытательного оборудования была не менее 600 ВА.

Ток срабатывания генератора должен быть установлен на значение 100 мА или для испытательных напряжений выше 6 кВ до максимально возможного значения.

Примечание 3 — Для контрольных испытаний ток срабатывания может быть установлен на меньшую величину, но не менее 10 мА.

6.4.8 Испытание напряжением высокой частоты

Для напряжений высокой частоты для частот выше 30 кГц в соответствии с перечислением d) 6.4.2 могут потребоваться дополнительные или альтернативные испытания напряжением переменного тока согласно 6.4.5 или испытания на частичный разряд согласно 6.4.6.

Примечание — Информация о характеристиках устойчивости изоляции при частотах выше 30 кГц и методы испытания указаны в IEC 60664-4.

6.5 Проведение испытаний изоляционных свойств на комплектном оборудовании

6.5.1 Общие положения

При проведении испытания импульсным напряжением на полностью готовом оборудовании необходимо учитывать затухание или усиление испытательного напряжения. Необходимо убедиться, что требуемое значение испытательного напряжения приложено к контактным зажимам испытуемого оборудования.

Перед испытанием изоляционных свойств следует отключить устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП).

Примечание — Если имеются конденсаторы с высокой емкостью, включенные параллельно частям, между которыми прикладывается испытательное напряжение, то трудно или невозможно обеспечить необходимое испытательное напряжение, так как зарядный ток может превышать нагрузочную способность высоковольтного источника, встроенного в измерительное устройство высокого напряжения (200 мА). В таких случаях перед испытаниями конденсаторы должны отделяться от цепей.

6.5.2 Испытуемые части

Испытательное напряжение должно быть приложено между частями оборудования, которые электрически отделены друг от друга.

Примерами таких частей являются:

- части, находящиеся под напряжением;
- разделенные цепи;
- цепи заземления;
- доступные поверхности.

Нетокопроводящие части доступных поверхностей должны быть покрыты металлической фольгой. Если полное покрытие больших оболочек металлической фольгой практически невозможно, частичного покрытие достаточно, если оно применяется к тем частям, которые обеспечивают защиту от поражения электрическим током.

6.5.3 Подготовка цепей оборудования

Для проведения испытания каждая цепь оборудования должна быть подготовлена следующим образом:

- внешние контактные зажимы цепей, при их наличии, должны быть соединены вместе;
- устройства распределения и управления, находящиеся внутри оборудования должны быть во включенном положении или исключены из цепи;
- контактные зажимы компонентов блокировки напряжения (таких, как выпрямительные диоды) должны быть соединены вместе;

- компоненты, такие как фильтры защиты от радиопомех, должны присутствовать при импульсном испытании, но возможно потребуется их отключение во время испытаний переменным током.

Перед проведением испытания определенные компоненты необходимо подключить следующим образом:

- чувствительные к напряжению компоненты в любой цепи оборудования, которые не перекрывают основную, дополнительную или усиленную изоляцию, могут быть исключены из цепи путем замыкания контактных зажимов;
- испытанные ранее контактные разъемы печатных плат и модули с многоточечными разъемами могут быть извлечены, отсоединены или заменены имитирующими их образцами, чтобы гарантировать, что испытательное напряжение распространяется внутри оборудования в степени, необходимой для испытаний изоляции.

6.5.4 Значения испытательного напряжения

Цепи, подключаемые к электрической сети, испытывают в соответствии с 6.2 и 6.4.

Испытательное напряжение между двумя цепями оборудования должно иметь значение, соответствующее наибольшему напряжению, которое действительно может возникнуть между этими цепями.

6.5.5 Критерии испытания

Во время испытания не должно быть разрушающего изоляцию разряда (искрового перекрытия, поверхностного перекрытия или пробоя). Частичные разряды в воздушных зазорах, не приводящие к выходу из строя, не принимаются во внимание, если иное не указано техническими комитетами.

Примечание — Рекомендуется, чтобы при испытаниях импульсным напряжением для регистрации разрушительных пробоев применялись осциллографы.

6.6 Другие испытания

6.6.1 Испытание для целей, отличных от координации изоляции

Технические комитеты, устанавливающие электрические испытания для целей, отличных от проверки координации изоляции, не должны устанавливать испытательные напряжения выше, чем те, которые требуются для координации изоляции.

6.6.2 Выборочные и контрольные испытания

Выборочные и контрольные испытания применяются для контроля качества продукции. Соответствующий технический комитет и, в частности, изготовитель обязаны устанавливать эти испытания. Они должны выполняться при таких формах волны и уровнях напряжения, чтобы обнаруживать неисправности без повреждения оборудования (твердой изоляции или компонентов).

Технические комитеты, устанавливающие выборочные и контрольные испытания, ни в коем случае не должны устанавливать испытательные напряжения выше, чем те, которые требуются для типовых испытаний.

6.6.3 Точность измерения испытательных параметров

Все важные испытательные параметры должны быть измерены с высокой точностью, чтобы обеспечить четко определенные и сопоставимые результаты испытаний. В целях гармонизации в данном стандарте приведена следующая точность измерения измерительных устройств, используемых для следующих параметров испытаний:

a) испытательное напряжение (переменного/постоянного тока): ±3 %;
   испытательное напряжение (импульсное): ±5 %;
b) ток: ±1,5 %;
c) частота: ±0,2 %;
d) температура:
   - ниже 100 °C ±2 K;
   - от 100 °C до 500 °C ±3 %;
e) относительная влажность: ±3 %.

Примечание — Данное значение относится к точности устройства измерения влажности. Оно не включает в себя однородность влажности в камере и/или влияние испытуемого образца на однородность влажности. Перед испытанием образца влажность в камере измеряется только в одном месте.

f) величина частичного разряда: ±10 % или ±1 пКл (применяется большее значение);

g) время (импульсного напряжения) ±20 %;
время (продолжительности испытания) ±1 %.

6.7 Измерение затухания переходных перенапряжений

Предлагаемое измерение (см. 4.2.2.5) затухания переходных процессов возможно только при использовании соответствующего импульсного генератора с очень низким полным выходным сопротивлением.

Такое измерение может быть выполнено с использованием «генератора комбинированных волн 1,2/50 мкс» согласно IEC 61000-4-5 с эффективным полным выходным сопротивлением 2 Ом.

Примечание — Полное выходное сопротивление 2 Ом представляет собой наихудший случай, см. также IEC 61000-4-5:2014 (пункт С.1) для различных полных сопротивлений источника для каждого режима связи.

6.8 Измерение воздушных зазоров и путей утечки

Воздушные зазоры и пути утечки проверяются как минимум:
- физическим измерением, или
- осмотром конструкции печатной платы, конструкторской документации, или
- 2D- или 3D-систем компьютерного проектирования.

Методы измерения воздушных зазоров и путей утечки указаны на рисунках 4—14.

В этих случаях не делается различий между зазорами и канавками или между типами изоляции. Кроме того, если в примере показано формирование угла, то эти случаи могут применяться к любому углу.

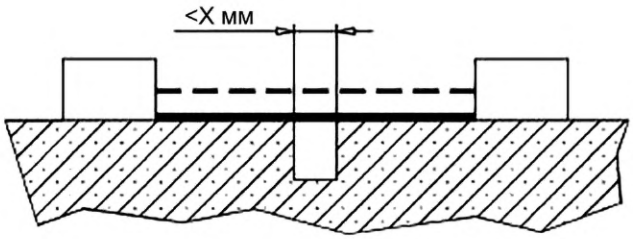
Применяются следующие допущения:
- если расстояние через канавку меньше указанной ширины X (см. таблицу 1), то путь утечки измеряется непосредственно через канавку без учета контура канавки (см. рисунок 4);
- если расстояние через канавку равно или больше указанной ширины X (см. таблицу 1), то путь утечки измеряется по контуру канавки (см. рисунок 5);
- предполагается, что любое углубление перекрывается изоляционным соединением, имеющим длину, равную указанной ширине X, и размещенным в наиболее неблагоприятном положении (см. рисунок 6);
- воздушные зазоры и пути утечки между частями, которые могут занимать разные положения по отношению друг к другу, измеряются, когда эти части находятся в наиболее неблагоприятном положении.

Минимальное значение размера X, указанного в приведенных ниже примерах, зависит от степени загрязнения, как указано в таблице 1.

Таблица 1 — Определение размеров канавок

Степень загрязнения	Минимальное значение размера X
1	0,25 мм
2	1,0 мм
3	1,5 мм

Если соответствующий требуемый воздушный зазор менее 3 мм, минимальный размер X может быть уменьшен до 1/3 этого зазора.



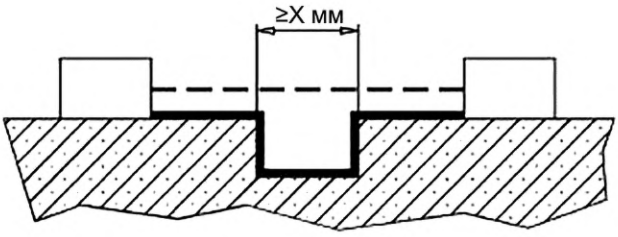
Воздушный зазор

Путь утечки

Условие: рассматриваемый путь включает канавку с параллельными или сходящимися сторонами любой глубины и шириной меньше значения X мм.

Правило: воздушный зазор и путь утечки измеряются по прямой линии поверх канавки, как показано.

Рисунок 4 — Через канавку



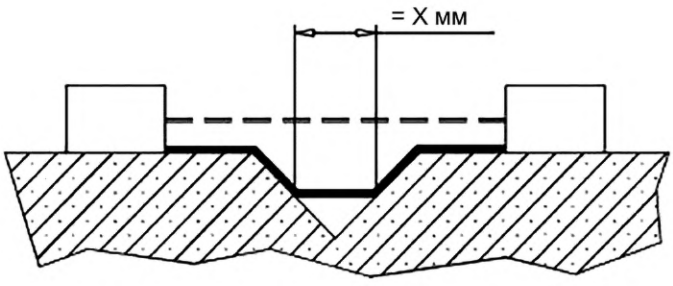
Воздушный зазор

Путь утечки

Условие: рассматриваемый путь включает канавку с параллельными сторонами любой глубины и шириной, равной и превышающей значение X мм.

Правило: воздушный зазор — это расстояние «линии прямой видимости». Путь утечки повторяет контур канавки.

Рисунок 5 — Контур канавки



Воздушный зазор

Путь утечки

Условие: рассматриваемый путь включает V-образную канавку шириной более X мм.

Правило: воздушный зазор — это расстояние «линии прямой видимости». Путь утечки повторяет контур канавки, но перекрывает дно канавки изоляционным соединением на расстоянии, равном X мм.

Рисунок 6 — Контур канавки с углом

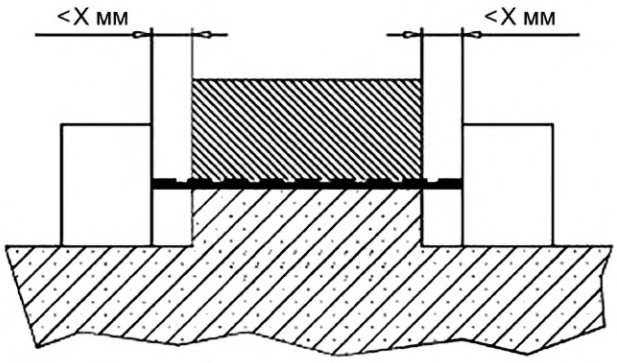


Воздушный зазор — Путь утечки

Условие: рассматриваемый путь включает ребро.

Правило: воздушный зазор — это наименьшее прямое расстояние по воздуху через вершину ребра. Путь утечки повторяет контур ребра.

Рисунок 7 — Контур ребра

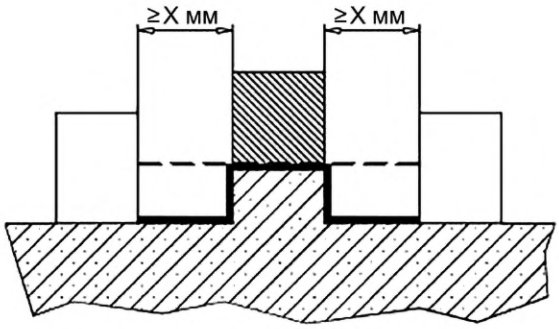


Воздушный зазор — Путь утечки

Условие: рассматриваемый путь включает нескрепленный стык с канавками шириной меньше чем значение X мм с каждой стороны.

Правило: воздушный зазор и путь утечки — это показанное расстояние «линии прямой видимости».

Рисунок 8 — Нескрепленный стык с канавками шириной меньше чем значение X мм

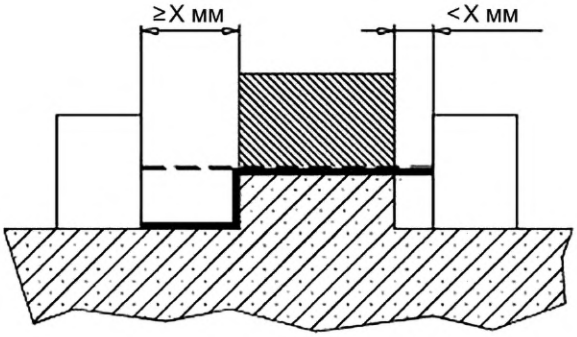


— — — — — Воздушный зазор ▬▬▬ Путь утечки

Условие: рассматриваемый путь включает нескрепленный стык с канавками шириной, равной и превышающей значение X мм с каждой стороны.

Правило: воздушный зазор — это расстояние «линии прямой видимости». Путь утечки повторяет контур канавки.

Рисунок 9 — Нескрепленный стык с канавками шириной, равной или превышающей значение X мм

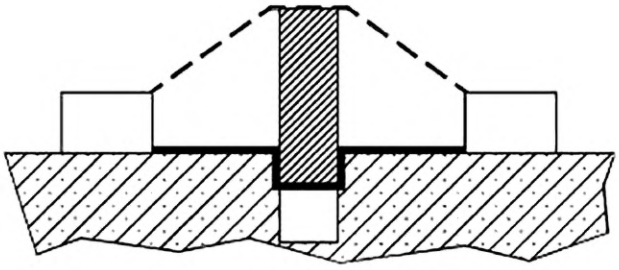


— — — — — Воздушный зазор ▬▬▬ Путь утечки

Условие: рассматриваемый путь включает нескрепленный стык с канавкой шириной менее значения X мм на одной стороне и канавкой шириной, равной и превышающей значение X мм на другой стороне.

Правило: воздушный зазор и путь утечки — это расстояние по указанному участку.

Рисунок 10 — Нескрепленный стык с канавками шириной менее значения X мм на одной стороне

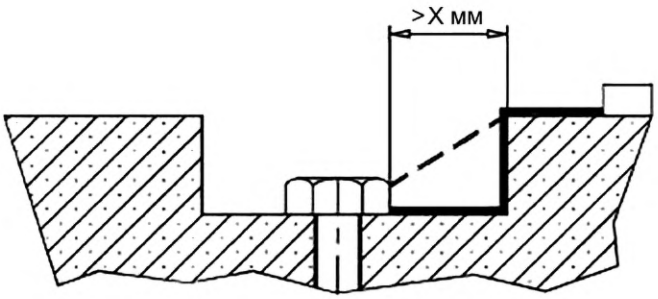


— — — — — Воздушный зазор ▬▬▬ Путь утечки

Условие: путь утечки через нескрепленный стык меньше чем путь утечки через барьер, но больше чем воздушный зазор поверх барьера.

Правило: воздушный зазор — это наименьшее прямое расстояние по воздуху через вершину барьера.

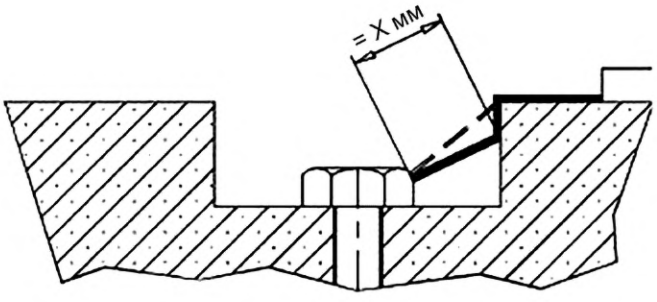
Рисунок 11 — Путь утечки и воздушный зазор через нескрепленный стык



— — — — — Воздушный зазор ▬▬▬ Путь утечки

Зазор между головкой винта и стенкой паза достаточно большой, чтобы его можно было принять во внимание.

Рисунок 12 — Путь утечки и воздушный зазор до головки винта больше чем значение X

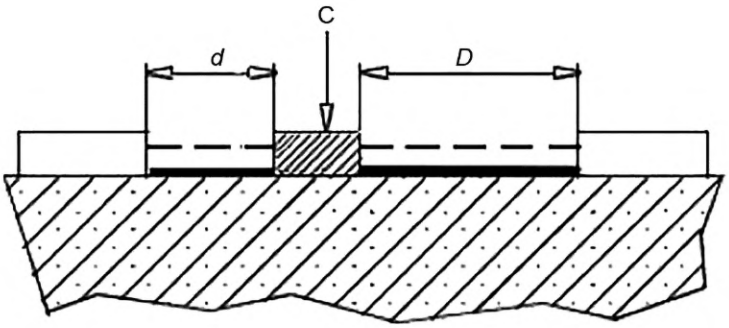


— — — — — Воздушный зазор ▬▬▬ Путь утечки

Зазор между головкой винта и стенкой паза слишком узкий, чтобы его можно было принять во внимание.

Путь утечки измеряется от головки винта до стены, когда расстояние равно X мм.

Рисунок 13 — Путь утечки и воздушный зазор до головки винта меньше чем значение X



Воздушный зазор

Путь утечки

C — токопроводящая подвижная часть.

Размер воздушного зазора равен *d* + *D*.

Размер пути утечки также равен *d* + *D*.

Примечание — В таблице F.2 указаны минимальные значения воздушных зазоров *d* или *D*.

Рисунок 14 — Путь утечки и воздушный зазор с токопроводящей подвижной частью

Приложение А
(справочное)

Основные данные о характеристиках устойчивости воздушных зазоров

Таблица А.1 — Выдерживаемые напряжения для высоты 2 000 м над уровнем моря

Длина воздушного зазора	Случай А, неоднородное поле			Случай В, однородное поле	
	Напряжение переменного тока (50/60 Гц)		Импульсное напряжение (1,2/50 мкс)	Напряжение переменного тока (50/60 Гц)	Напряжение переменного тока (50/60 Гц) и импульсное напряжение (1,2/50 мкс)
мм	Среднеквадратичное значение U, кВ	$\hat{U}$, кВ	$\hat{U}$, кВ	Среднеквадратичное значение U, кВ	$\hat{U}$, кВ
0,001	0,028	0,040	0,040	0,028	0,040
0,002	0,053	0,075	0,075	0,053	0,075
0,003	0,078	0,110	0,110	0,078	0,110
0,004	0,102	0,145	0,145	0,102	0,145
0,005	0,124	0,175	0,175	0,124	0,175
0,00625	0,152	0,215	0,215	0,152	0,215
0,008	0,191	0,270	0,270	0,191	0,270
0,010	0,23	0,33+	0,33+	0,23	0,33+
0,012	0,25	0,35	0,35	0,25	0,35
0,015	0,26	0,37	0,37	0,26	0,37
0,020	0,28	0,40	0,40	0,28	0,40
0,025	0,31	0,44	0,44	0,31	0,44
0,030	0,33	0,47	0,47	0,33	0,47
0,040	0,37	0,52	0,52	0,37	0,52
0,050	0,40	0,56	0,56	0,40	0,56
0,0625	0,42	0,60+	0,60+	0,42	0,60+
0,080	0,46	0,65	0,70	0,50	0,70
0,10	0,50	0,70	0,81	0,57	0,81
0,12	0,52	0,74	0,91	0,64	0,91
0,15	0,57	0,80	1,04+	0,74	1,04
0,20	0,62	0,88	1,15	0,89	1,26
0,25	0,67	0,95	1,23	1,03	1,45
0,30	0,71	1,01	1,31	1,15	1,62
0,40	0,78	1,11	1,44	1,38	1,95
0,50	0,84	1,19	1,55	1,59	2,25
0,60	0,90	1,27	1,65	1,79	2,53
0,80	0,98	1,39	1,81	2,15	3,04
1,0	1,06	1,50+	1,95	2,47	3,50+
1,2	1,20	1,70	2,20	2,89	4,09
1,5	1,39	1,97	2,56	3,50	4,95
2,0	1,68	2,38	3,09	4,48	6,33
2,5	1,96	2,77	3,60	5,41	7,65
3,0	2,21	3,13	4,07	6,32	8,94
4,0	2,68	3,79	4,93	8,06	11,4
5,0	3,11	4,40	5,72	9,76	13,8
6,0	3,51	4,97	6,46	11,5	16,2
8,0	4,26	6,03	7,84	14,6	20,7
10,0	4,95	7,00+	9,10	17,7	25,0+
12,0	5,78	8,18	10,6	20,9	29,6
15,0	7,00	9,90	12,9	25,7	36,4
20,0	8,98	12,7	16,4	33,5	47,4
25,0	10,8	15,3	19,9	41,2	58,3
30,0	12,7	17,9	23,3	48,8	69,0

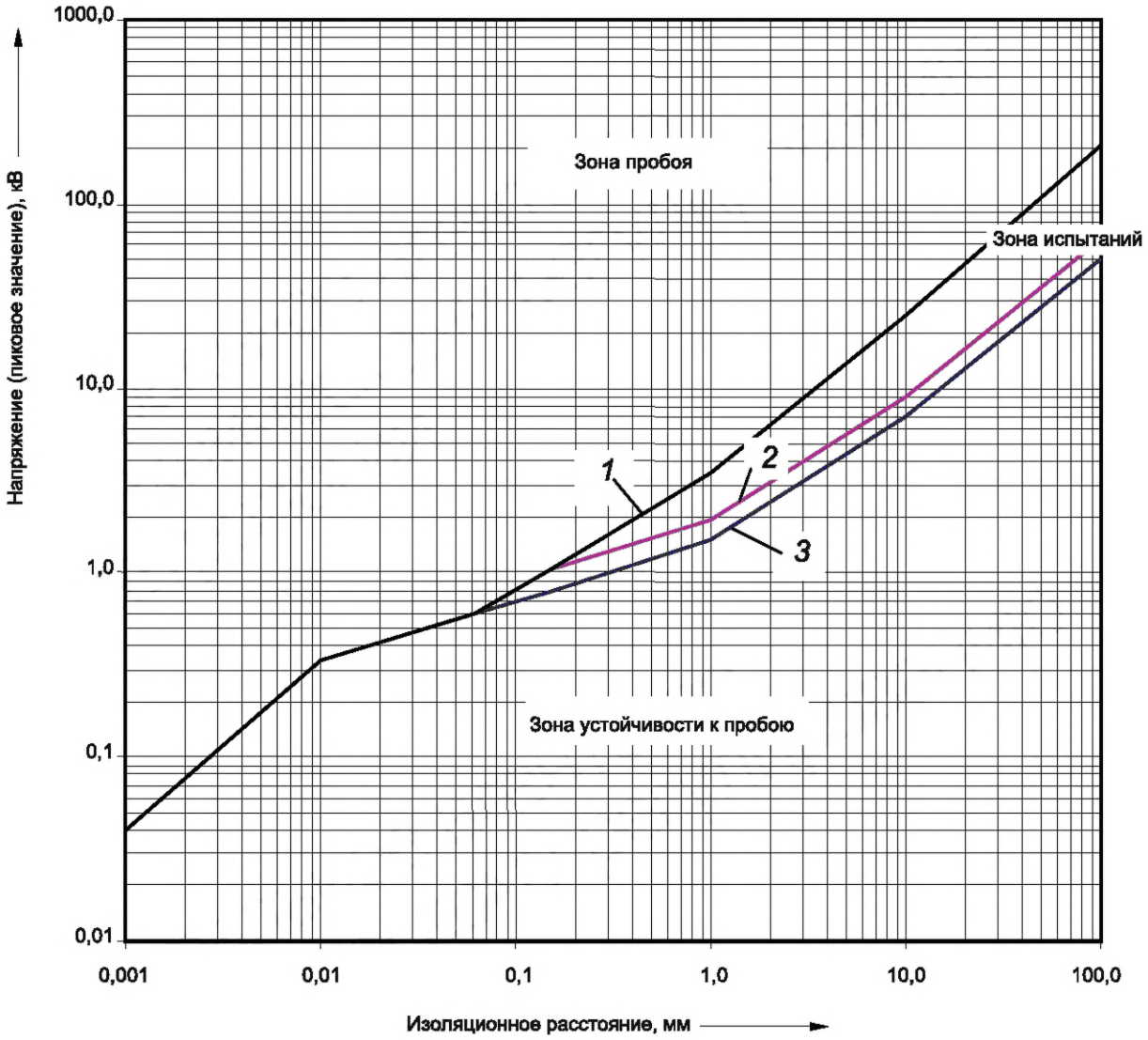
Окончание таблицы А.1

Длина воздушного зазора	Случай А, неоднородное поле			Случай В, однородное поле	
	Напряжение переменного тока (50/60 Гц)		Импульсное напряжение (1,2/50 мкс)	Напряжение переменного тока (50/60 Гц)	Напряжение переменного тока (50/60 Гц) и импульсное напряжение (1,2/50 мкс)
мм	Среднеквадратичное значение U, кВ	$\hat{U}$, кВ	$\hat{U}$, кВ	Среднеквадратичное значение U, кВ	$\hat{U}$, кВ
40,0	16,2	22,9	29,8	63,6	90,0
50,0	19,6	27,7	36,0	78,5	111,0
60,0	22,8	32,3	42,0	92,6	131,0
80,0	29,2	41,3	53,7	120,9	171,0
100,0	35,4	50,0+	65,0	148,5	210,0+
Источник: Информация о воздушных зазорах от 0,001 до 0,008 мм взята из документа Electrical breakdown experiments in air for micrometer gaps under various pressures P. Hartherz, K. Ben Yahia, L. Müller, R. Pfendtner and W. Pfeiffer (см. библиографию). Более подробную информацию можно найти в диссертации P. Hartherz Anwendung der Teilentladungsmeß-technik zur Fehleranalyse in festen Isolierungen unter periodischer Impulsspannungsbelastung (см. библиографию).					

Для упрощения статистически измеренные значения в соответствии с таблицей А.1, показанной выше, заменяются прямыми линиями между значениями, отмеченными «+» на двойной логарифмической диаграмме, с учетом поправочных коэффициентов для высот от 0 до 2 000 м над уровнем моря. Средние значения взяты из этой диаграммы (см. рисунок А.1), поэтому они включают измеренные значения с небольшим запасом прочности. Среднеквадратичные значения напряжения U определяются путем деления значений $\hat{U}$ на $\sqrt{2}$.

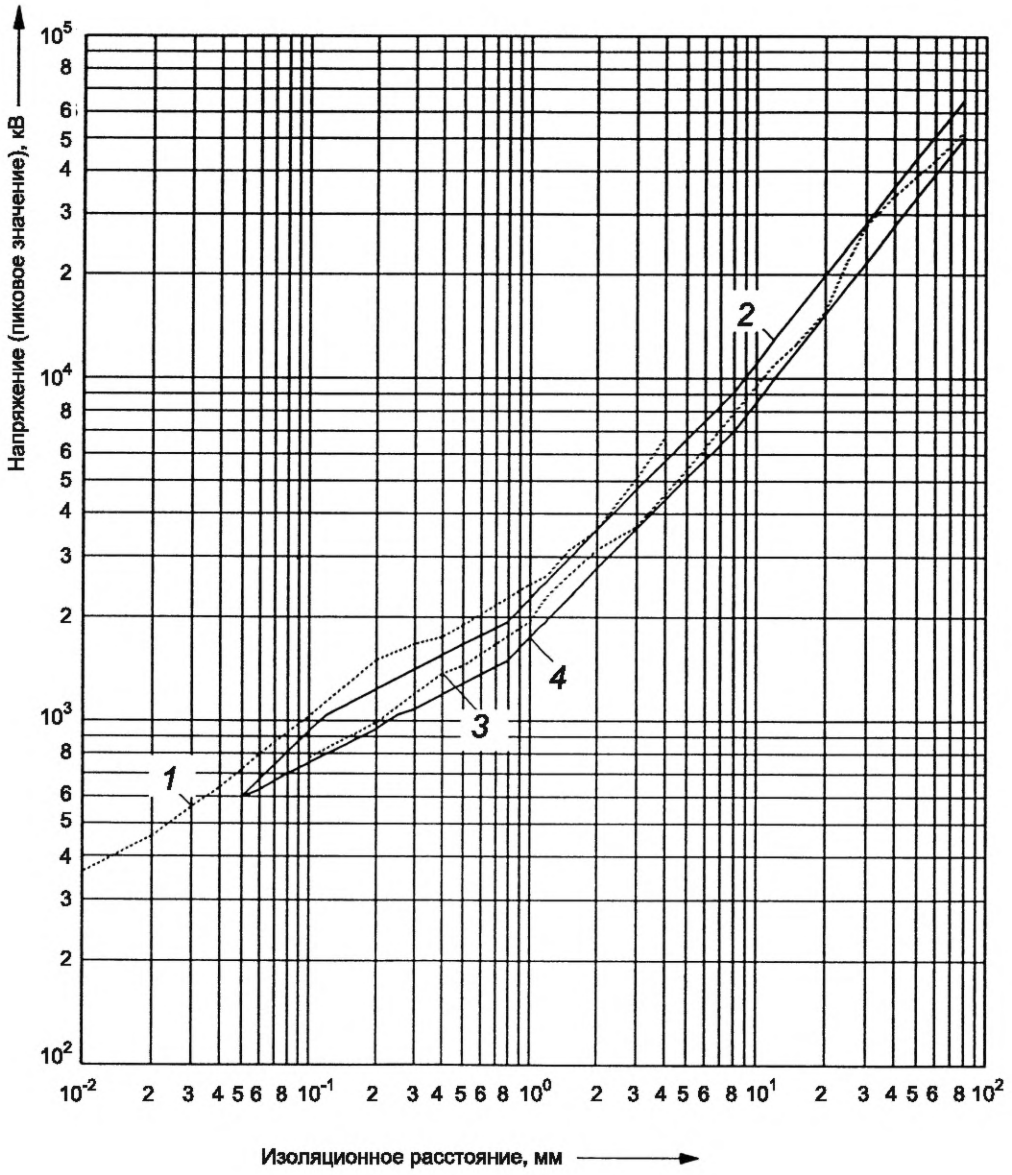
Таблица А.2 — Поправочные коэффициенты для изменения длины воздушных зазоров

Высота, м	Нормальное атмосферное давление, кПа	Поправочный коэффициент k_d для воздушных зазоров
2 000	80,0	1,00
3 000	70,0	1,14
4 000	62,0	1,29
5 000	54,0	1,48
6 000	47,0	1,70
7 000	41,0	1,95
8 000	35,5	2,25
9 000	30,5	2,62
10 000	26,5	3,02
15 000	12,0	6,67
20 000	5,5	14,5



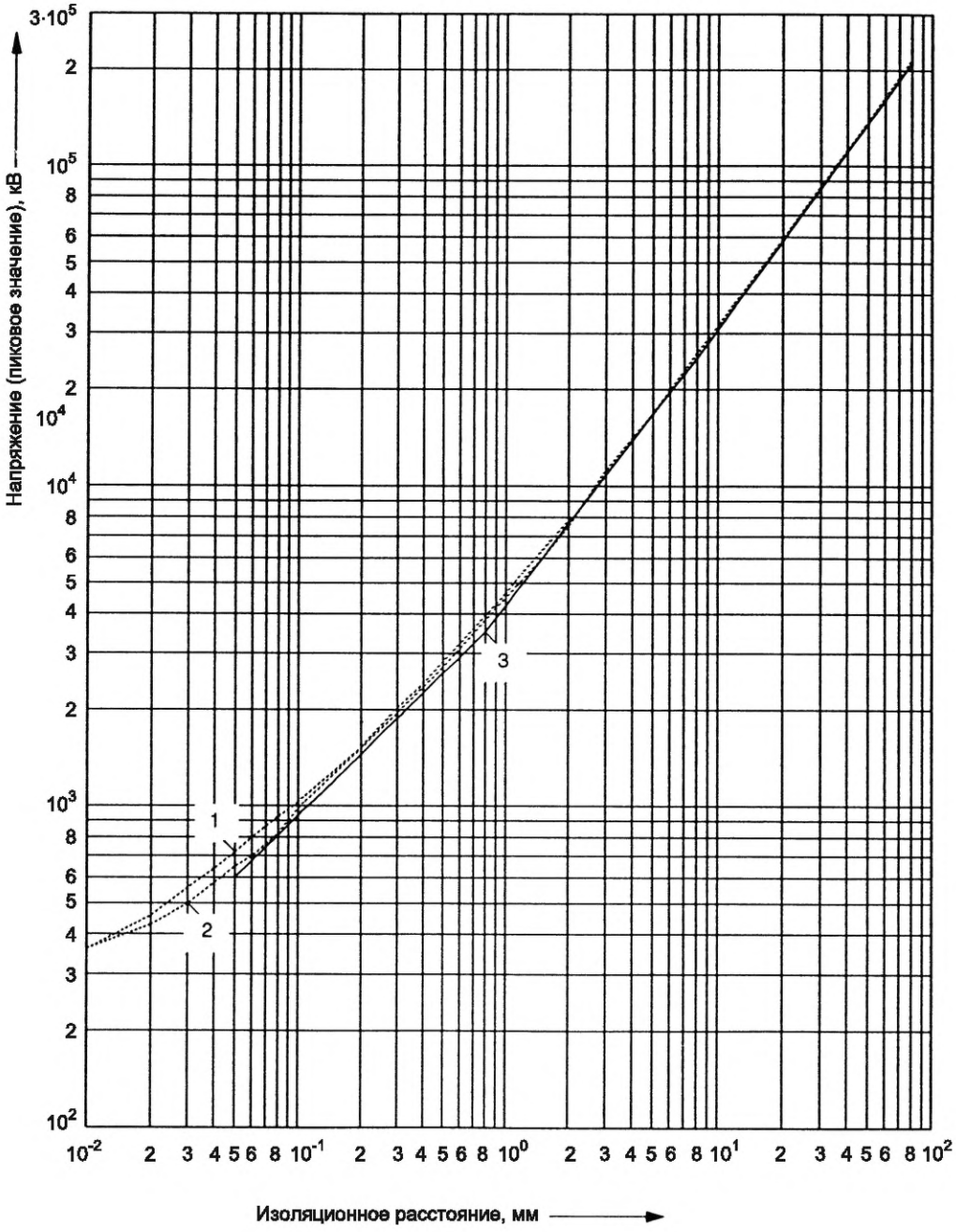
1 — случай B; импульсное напряжение (1,2/50 мкс) $\hat{U}$ и напряжение переменного тока (50/60 Гц) $\hat{U}$;
2 — случай A; импульсное напряжение (1,2/50 мкс) $\hat{U}$;
3 — случай A; напряжение переменного тока (50/60 Гц) $\hat{U}$

Рисунок А.1 — Выдерживаемое напряжение на высоте 2 000 м над уровнем моря



1 — импульсное напряжение (1,2/50 мкс) $\hat{U}$ в соответствии с Pfeiffer, W., ETZ-B, 1976 (см. библиографию);
2 — нижние предельные значения для импульсного напряжения (1,2/50 мкс) $\hat{U}$;
3 — напряжение переменного тока (50 Гц) $\hat{U}$ в соответствии с Hermstein, W., ETZ-A, 1969 (см. библиографию);
4 — нижние предельные значения для напряжения переменного тока (50 Гц) $\hat{U}$

Рисунок А.2 — Экспериментальные данные, измеренные приблизительно на уровне моря, и их нижние предельные значения для неоднородного поля



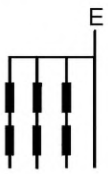
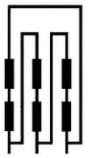
1 — импульсное напряжение (1,2/50 мкс) $\hat{U}$ в соответствии с Pfeiffer, W., ETZ-B, 1976 (см. библиографию);
2 — напряжение переменного тока (50 Гц) $\hat{U}$ в соответствии с Dakin, T. et al., Electra, 1974 (см. библиографию);
3 — нижние предельные значения для импульсного напряжения (1,2/50 мкс) $\hat{U}$ и напряжения переменного тока (50 Гц) $\hat{U}$

Рисунок А.3 — Экспериментальные данные, измеренные приблизительно на уровне моря, и их нижние предельные значения для однородного поля

Приложение В
(справочное)

Номинальные напряжения сети питания для различных способов контроля перенапряжения

Таблица В.1 — Саморегулирование или эквивалентное защитное управление

Напряжение между фазой и нейтралью, полученное из номинальных напряжений переменного или постоянного тока [a], до и включительно, В	Номинальные напряжения, используемые в мире в настоящее время				Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение для оборудования, В			
					Категория перенапряжения			
	Трехфазные четырехпроводные системы с заземленной нейтралью, В 	Трехфазные трехпроводные системы без заземления, В 	Однофазные двухпроводные системы переменного или постоянного тока, В 	Однофазные трехпроводные системы переменного или постоянного тока, В 	I	II	III	IV
50	—	—	12,5, 24, 25, 30, 42, 48	30—60	330	500	800	1 500
100	66/115	66	60	—	500	800	1 500	2 500
150	120/208 [b], 127/220	115, 120, 127	100 [c], 110, 120	100—200 [c], 110—220, 120—240	800	1 500	2 500	4 000
300	220/380, 230/400, 240/415, 260/440, 277/480	200 [c], 220, 230, 240, 260, 277, 347, 380, 400, 415, 440, 480	220	220—440	1 500	2 500	4 000	6 000
600	347/600, 380/660, 400/690, 417/720, 480/830	500, 577, 600	480	480—960	2 500	4 000	6 000	8 000
1 000	—	660, 690, 720, 830, 1 000	1 000	—	4 000	6 000	8000	12 000
1 250 [d]	—	—	1 250	1 250	4 000	6 000	8 000	12 000
1 500 [d]	—	—	1 500	1 500	6 000	8 000	10 000	15 000

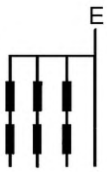
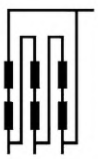
[a] Эти столбцы взяты из таблицы F.1, в которой указаны значения номинального импульсного выдерживаемого напряжения.

[b] Применяется в США и Канаде.

[c] Применяется в Японии.

[d] Только для постоянного тока.

Таблица B.2 — Случаи, когда необходимо защитное управление и оно обеспечивается устройством защиты от импульсных перенапряжений, имеющим коэффициент отношения уровня защиты от напряжения к номинальному напряжению не менее указанного в IEC 61643 (все части)

Напряжение между фазой и нейтралью, полученное из номинальных напряжений переменного или постоянного тока [a], до и включительно, В	Номинальные напряжения, используемые в мире в настоящее время				Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение для оборудования, В			
	Трехфазные четырехпроводные системы с заземленной нейтралью, В 	Трехфазные трехпроводные системы с заземлением или без заземления, В 	Однофазные двухпроводные системы переменного или постоянного тока, В 	Однофазные трехпроводные системы переменного или постоянного тока, В 	Категория перенапряжения			
					I	II	III	IV
50	—	—	12,5, 24, 25, 30, 42, 48	30—60	330	500	800	1 500
100	66/115	66	60	—	500	800	1 500	2 500
150	120/208 [b], 127/220	115, 120, 127	100 [c], 110, 120	100—200 [c], 110—220, 120—240	800	1 500	2 500	4 000
300	220/380, 230/400, 240/415, 260/440, 277/480	200 [c], 220, 230, 240, 260, 277	220	220—440	1 500	2 500	4 000	6 000
600	347/600, 380/660, 400/690, 417/720, 480/830	347, 380, 400, 415, 440, 480, 500, 577, 600	480	480—960	2 500	4 000	6 000	8 000
1 000	—	660, 690, 720, 830, 1 000	1 000	—	4 000	6 000	8 000	12 000
1 250 [d]	—	—	1 250	1 250	4 000	6 000	8 000	12 000
1 500 [d]	—	—	1 500	1 500	6 000	8 000	10 000	15 000

[a] Эти столбцы взяты из таблицы F.1, в которой указаны значения номинального импульсного выдерживаемого напряжения.

[b] Применяется в США и Канаде.

[c] Применяется в Японии.

[d] Только для постоянного тока.

Приложение С
(обязательное)

Методы измерения частичного разряда

С.1 Испытательные цепи

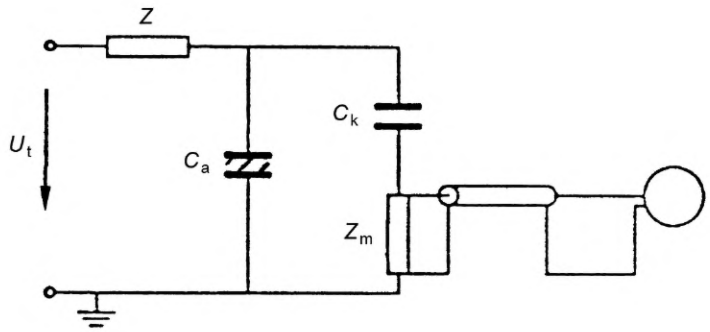
С.1.1 Общие положения

Испытательные цепи должны быть выполнены, как описано в IEC 60270. Указанные в настоящем приложении следующие цепи, соответствуют этим требованиям и приведены в качестве примеров.

Примечание 1 — В большинстве случаев будет достаточно испытательного оборудования, разработанного в соответствии с примерами, приведенными в настоящем приложении. В особых случаях, например при очень сильном окружающем электрическом шуме, учитывают требования IEC 60270.

Примечание 2 — Для разъяснения основных действий см. раздел D.2.

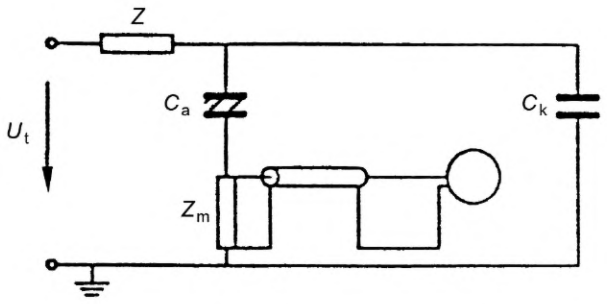
С.1.2 Испытательная цепь для заземленного испытуемого образца (см. рисунок С.1)



U_t — испытательное напряжение;
Z — фильтр;
C_a — испытуемый образец (обычно его можно рассматривать как емкость);
C_k — конденсатор связи;
Z_m — измерительное полное сопротивление

Рисунок С.1 — Заземленный испытуемый образец

С.1.3 Испытательная цепь для незаземленного испытуемого образца (см. рисунок С.1)



U_t — испытательное напряжение;
Z — фильтр;
C_a — испытуемый образец (обычно его можно рассматривать как емкость);
C_k — конденсатор связи;
Z_m — измерительное полное сопротивление

Рисунок С.2 — Незаземленный испытуемый образец

С.1.4 Критерий выбора

По сути, обе схемы эквивалентны. Однако паразитные емкости испытуемого образца по-разному влияют на чувствительность. Емкость на землю высоковольтного вывода испытуемого образца имеет тенденцию к снижению чувствительности цепи в соответствии с С.1.2 и тенденцию к увеличению чувствительности цепи в соответствии с С.1.3, которая, следовательно, и должна быть предпочтительной.

С.1.5 Измерительное полное сопротивление

Измерительное полное сопротивление должно обеспечивать пренебрежимо малое падение напряжения на испытательной частоте. Полное сопротивление для измеряемой частоты должно быть выбрано таким, чтобы обеспечить необходимую чувствительность, см. раздел D.2.

Если используются компоненты, ограничивающие напряжение, они не должны работать в пределах диапазона измерения.

С.1.6 Конденсатор связи C_k

Этот конденсатор должен быть низко индуктивного типа и с резонансной частотой более $3f_2$ (см. раздел С.3). Он не должен иметь частичных разрядов вплоть до наибольшего используемого испытательного напряжения.

С.1.7 Фильтр

Использование фильтра необязательно. Если он используется, то для измеряемой частоты его полное сопротивление должно быть высоким.

С.2 Испытательные параметры

С.2.1 Общие положения

Технические комитеты должны указать:

- частоту испытательного напряжения f_t (см. С.2.2);
- заданную величину разряда (см. 6.4.6.4.1);
- климатические условия для испытания на частичный разряд (см. С.2.3).

Примечание — Могут потребоваться разные характеристики для типовых и контрольных испытаний.

С.2.2 Требования к испытательному напряжению

Принято использовать напряжение переменного тока. Общее гармоническое искажение должно быть менее 3 %.

Примечание 1 — Низкие искажения синусоидальной волны позволяют использовать стандартные вольтметры и рассчитывать пиковое значение напряжения на основе показаний среднеквадратичного напряжения. В случае больших искажений применяют вольтметры, измеряющие пиковые значения напряжения.

Обычно испытания проводятся на промышленной частоте. Если в оборудовании присутствуют другие частоты, технические комитеты должны рассмотреть возможные эффекты влияния частоты на величину разряда.

Примечание 2 — Испытание на частичный разряд напряжением постоянного тока может быть неприемлемым из-за трудности достижения необходимой окружающей среды, полностью свободной от электрических шумов. Кроме того, можно отметить, что распределение напряжения для переменного и постоянного тока сильно отличается.

С.2.3 Климатические условия

Рекомендуется проводить испытание при комнатной температуре и средней влажности (23 °С, относительная влажность 50 %, см. IEC 60068-1:2013 (пункт 4.3)).

С.3 Требования к измерительным приборам

С.3.1 Общие положения

Для измерения заряда могут использоваться как широкополосные, так и узкополосные приборы (см. С.3.3). Вольтметры радиопомех могут использоваться только в соответствии с мерами предосторожности, приведенными в С.3.2.

Нижний предел измерительной частоты определяется частотой f_t испытательного напряжения и частотной характеристикой измерительного полного сопротивления Z_m (см. С.1.5). Он не должен быть ниже $10f_t$.

Верхний предел измерительной частоты определяется формой импульсов частичных разрядов и частотной характеристикой испытательной цепи. Необязательно, чтобы он был больше 2 МГц. Для узкополосных измерителей частичного разряда измерительная частота должна выбираться с учетом источников узкополосных помех (см. D.3.4).

Примечание — Узкополосные измерители частичного разряда являются подходящими измерительными приборами.

С.3.2 Классификация измерителей частичного разряда

Ток через измерительное полное сопротивление Z_m интегрируется для обеспечения показаний, пропорциональных q_m (см. рисунок D.1).

На интегрирование может влиять измерительное полное сопротивление. В этом случае оно должно представлять собой емкость на всех частотах выше нижнего предела измерительной частоты. Напряжение на емкости, пропорциональное q_m, усиливается импульсным усилителем. Также должна обеспечиваться периодическая разрядка.

Если измерительное полное сопротивление является резистивным на всех частотах выше нижнего предела измерительной частоты, то интегрирование должно выполняться внутри импульсного усилителя.

Должны быть измерены одиночные импульсы и должен быть определен импульс максимальной амплитуды. Чтобы ограничить появление ошибок из-за перекрытия импульсов, разрешающая способность по времени импульсов должна быть менее 100 мкс.

Измерители радиопомех — это узкополосные измерители пикового напряжения. Они используются для измерения помех радиосигналов. Они включают в себя специальную цепь с фильтром, которая создает зависимость показаний от частоты повторения импульсов в соответствии с субъективным воздействием шума на человеческое ухо.

Для измерения частичных разрядов измерители радиопомех можно использовать, только если цепь с фильтром отключена. Кроме того, требуется подходящее измерительное полное сопротивление.

С.3.3 Полоса пропускания измерительной цепи

Обычно измеритель частичных разрядов ограничивает полосу пропускания измерительной цепи. Измерители частичных разрядов классифицируются в зависимости от их полосы пропускания на широкополосные или узкополосные.

a) Нижняя и верхняя частоты среза f_1 и f_2 — это те частоты, при которых частотная характеристика снижается на 3 дБ от постоянного значения в случае широкополосного измерителя и на 6 дБ от пикового значения в случае узкополосного измерителя.

b) Для узкополосных измерителей измерительная частота f_0 равна резонансному пику частотной характеристики.

c) Полоса пропускания Δf

$$\Delta f = f_2 - f_1. \qquad (C.1)$$

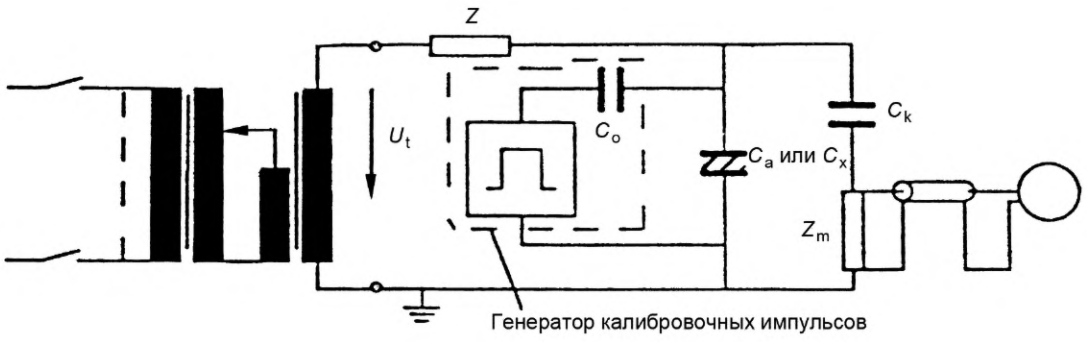
Для широкополосных измерителей Δf имеет тот же порядок величины, что и f_2. Для узкополосных измерителей Δf намного меньше f_0.

С.4 Калибровка

С.4.1 Калибровка величины разряда перед измерением уровня помехи

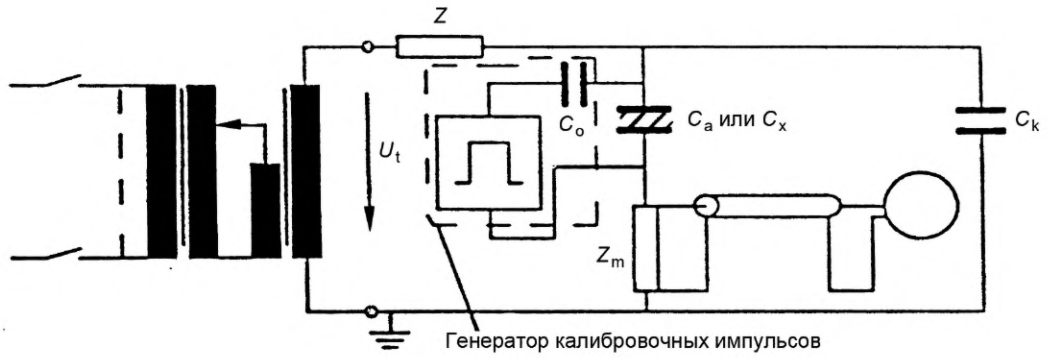
Калибровку испытательной цепи (см. рисунок С.3 или рисунок С.4) следует проводить при заданной величине разряда, заменяя испытательный образец C_a конденсатором C_x, при котором отсутствует частичный разряд. Полное сопротивление конденсатора C_x должно быть таким же, как у испытуемого образца C_a.

Трансформаторы должны быть отрегулированы в соответствии с заданным испытательным напряжением частичных разрядов, при этом они не должны находиться под напряжением, а их первичные обмотки должны быть закорочены. Заданная величина разряда должна быть приложена к контактным зажимам конденсатора с помощью генератора калибровочных импульсов. Индикация величины разряда на детекторе разряда должна быть отрегулирована в соответствии с калибровочным сигналом.



U_t — испытательное напряжение;
Z — фильтр;
C_0 — емкость генератора калибровочных импульсов;
C_a или C_x — испытуемый образец (обычно его можно рассматривать как емкость);
C_k — конденсатор связи;
Z_m — измерительное полное сопротивление

Рисунок С.3 — Калибровка для заземленного испытуемого образца



U_t — испытательное напряжение;
Z — фильтр;
C_0 — емкость генератора калибровочных импульсов;
C_a или C_x — испытуемый образец (обычно его можно рассматривать как емкость);
C_k — конденсатор связи;
Z_m — измерительное полное сопротивление

Рисунок С.4 — Калибровка для незаземленного испытуемого образца

С.4.2 Проверка уровня помех

Для оборудования, используемого в С.4.1, испытательное напряжение частичных разрядов должно быть увеличено до наибольшего испытательного напряжения. Максимальный уровень помех должен быть менее 50 % от заданной величины разряда. В противном случае требуются меры в соответствии с разделом D.3.

С.4.3 Калибровка для испытания на частичный разряд

Необходимо повторить процедуру, описанную в С.4.1, с испытательным образцом в цепи.

При изменении в испытательной цепи или в испытательном образце требуется повторная калибровка. В случае большого количества идентичных испытательных образцов периодической повторной калибровки может быть достаточно, если:

- полное сопротивление конденсатора связи составляет менее 1/10 полного сопротивления испытуемого образца; или
- полное сопротивление испытуемого образца не отклоняется от значения во время калибровки более чем на ±10 %.

Примечание — При указании временных интервалов для повторной калибровки технические комитеты могут иметь в виду, что в случае недостаточной чувствительности измерителя частичных разрядов потенциально опасные разряды могут быть не обнаружены.

С.4.4 Генератор калибровочных импульсов

В отношении генератора калибровочных импульсов см. IEC 60270, в котором объясняется метод испытаний и проверяемые характеристики.

Приложение D
(справочное)

Дополнительная информация о методах измерения частичного разряда

D.1 Измерение частичного разряда (ЧР), начальное напряжение и затухающее напряжение частичного разряда

Испытательное напряжение увеличивают от значения ниже начального напряжения частичного разряда до возникновения частичных разрядов (начальное напряжение ЧР). Далее испытательное напряжение увеличивают еще на 10 %, а затем напряжение уменьшают до тех пор, пока ЧР не станет меньше заданной величины разряда (затухающее напряжение ЧР). При этом не должно быть превышено испытательное напряжение изоляции, указанное для испытуемого образца.

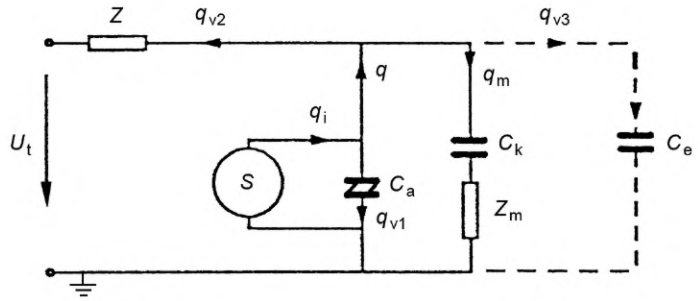
Примечание — Может случиться так, что на затухающее напряжение частичных разрядов влияет продолжительность воздействия напряжения со значениями, превышающими начальное напряжение частичных разрядов. Во время последовательных измерений подвергаться влиянию может как начальное напряжение частичных разрядов, так и затухающее напряжение частичных разрядов.

Данная процедура подходит для проведения исследовательских измерений.

D.2 Описание испытательной цепи для измерения частичного разряда (см. рисунок D.1)

Каждая цепь состоит из следующих устройств:

- испытательный образец C_a (в особых случаях это может быть и полное сопротивление Z_a);
- конденсатор связи C_k;
- измерительная цепь, состоящая из измерительного полного сопротивления Z_m, соединительного кабеля и измерителя частичного разряда;
- при необходимости фильтр Z для уменьшения заряда, шунтируемого источником испытательного напряжения.



U_t — испытательное напряжение;
Z — фильтр;
S — источник тока ЧР;
C_a — емкость испытуемого образца;
C_k — конденсатор связи;
Z_m — измерительное полное сопротивление;
C_e — паразитная емкость заземления;
q_i — внутренний заряд (не измеряемый);
q — кажущийся заряд;
q_m — измеряемый заряд;
q_{v1} — потеря заряда на испытуемом образце;
q_{v2} — потеря заряда на источнике испытательного напряжения;
q_{v3} — потеря заряда на паразитной емкости заземления

Рисунок D.1 — Испытательная цепь для измерения частичного разряда

Прямое измерение кажущегося заряда q потребует короткого замыкания на контактных зажимах испытуемого образца для измерения частоты. Это условие можно аппроксимировать следующим образом:

- $C_k > (C_a + C_e)$;
- большое полное сопротивление Z;
- маленькое измерительное полное сопротивление Z_m.

В противном случае могут возникнуть значительные потери заряда q_{v2} и q_{v3}. Эти потери заряда учитываются при калибровке, но они ограничивают чувствительность. Ситуация усугубляется, если испытуемый образец имеет большую емкость.

D.3 Меры предосторожности для снижения помех

D.3.1 Общие положения

Помехи могут оказывать большое влияние на результаты измерений частичных разрядов. Такие помехи могут быть вызваны кондуктивной связью или электромагнитными помехами. В неэкранированных промышленных испытательных объектах из-за помех могут возникать одиночные импульсы заряда до 100 пКл. Даже при благоприятных условиях можно ожидать не менее 20 пКл.

Можно достичь уровня помехи не более 1 пКл, но для этого потребуется экранирование испытательной цепи, тщательные меры по заземлению и наличие фильтра на входе электрической сети.

В основном существует два различных вида источников помех, описанных в D.3.2 и D.3.3.

D.3.2 Источники помехи в испытательной цепи без подачи напряжения

Помехи вызваны, например, коммутацией в смежных цепях. В случае кондуктивной связи они возникают только в том случае, если предусмотрено подключение к электрической сети. При электромагнитной связи они также возникают и при отключении от электрической сети (включая защитный проводник).

D.3.3 Источники помехи в испытательной цепи под напряжением

Обычно помехи увеличиваются с повышением испытательного напряжения и вызваны частичными разрядами вне испытуемого образца. ЧР может возникнуть в испытательном трансформаторе, высоковольтных соединительных проводах, вводах и местах плохого контакта. Гармоники испытательного напряжения также могут способствовать повышению уровня помех.

D.3.4 Меры по снижению уровня помех

Помехи, вызванные кондуктивной связью, можно уменьшить, используя сетевые фильтры на входе центрального питания испытательной цепи. Не должно быть контуров заземления.

Электромагнитные помехи, например радиосигналы, могут быть исключены простым способом путем изменения измерительной частоты f_0 для узкополосных измерителей частичных разрядов. Для широкополосных измерителей частичных разрядов могут потребоваться полосовые режекторные фильтры, широкополосные сигналы могут быть подавлены только путем экранирования. Наибольшую эффективность обеспечивает полностью закрытый экран с высокой электропроводностью.

D.4 Применение поправочных коэффициентов для испытательных напряжений

D.4.1 Общие положения

Значения поправочных коэффициентов, определенных в 6.4.6 и используемых в 5.4.3.3 и 6.4.6, рассчитывают следующим образом.

Примечание — Эти примеры даны для повторяющегося пикового напряжения $U_{гр}$. Эти коэффициенты аналогичным образом применяются к установившемуся пиковому напряжению и пиковому значению длительного временного перенапряжения.

D.4.2 Пример 1 (цепь подключена у электрической сети)

D.4.2.1 Максимальное повторяющееся пиковое напряжение $U_{гр}$

$$U_{гр} = \sqrt{2}\, U_0 \cdot F_4 = 1{,}1\sqrt{2}\, U_0.$$

D.4.2.2 Затухающее напряжение частичного разряда $U_{затухающее}$ (основная изоляция)

$$U_{затухающее} = \sqrt{2}\, U_0 \cdot F_4 \cdot F_1.$$

$$U_{затухающее} = \sqrt{2}\, U_0 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}2 = 1{,}32\sqrt{2}\, U_0.$$

D.4.2.3 Начальное значение испытательного напряжения частичного разряда U_1 (основная изоляция)

$$U_1 = \sqrt{2}\, U_0 \cdot F_4 \cdot F_1 \cdot F_2.$$

$$U_1 = \sqrt{2}\, U_0 \cdot 1{,}32 \cdot 1{,}25 = 1{,}65\sqrt{2}\, U_0.$$

D.4.3 Пример 2 (внутренняя цепь с максимальным повторяющимся пиковым напряжением $U_{гр}$)

D.4.3.1 Затухающее напряжение частичного разряда $U_{затухающее}$ (основная изоляция)

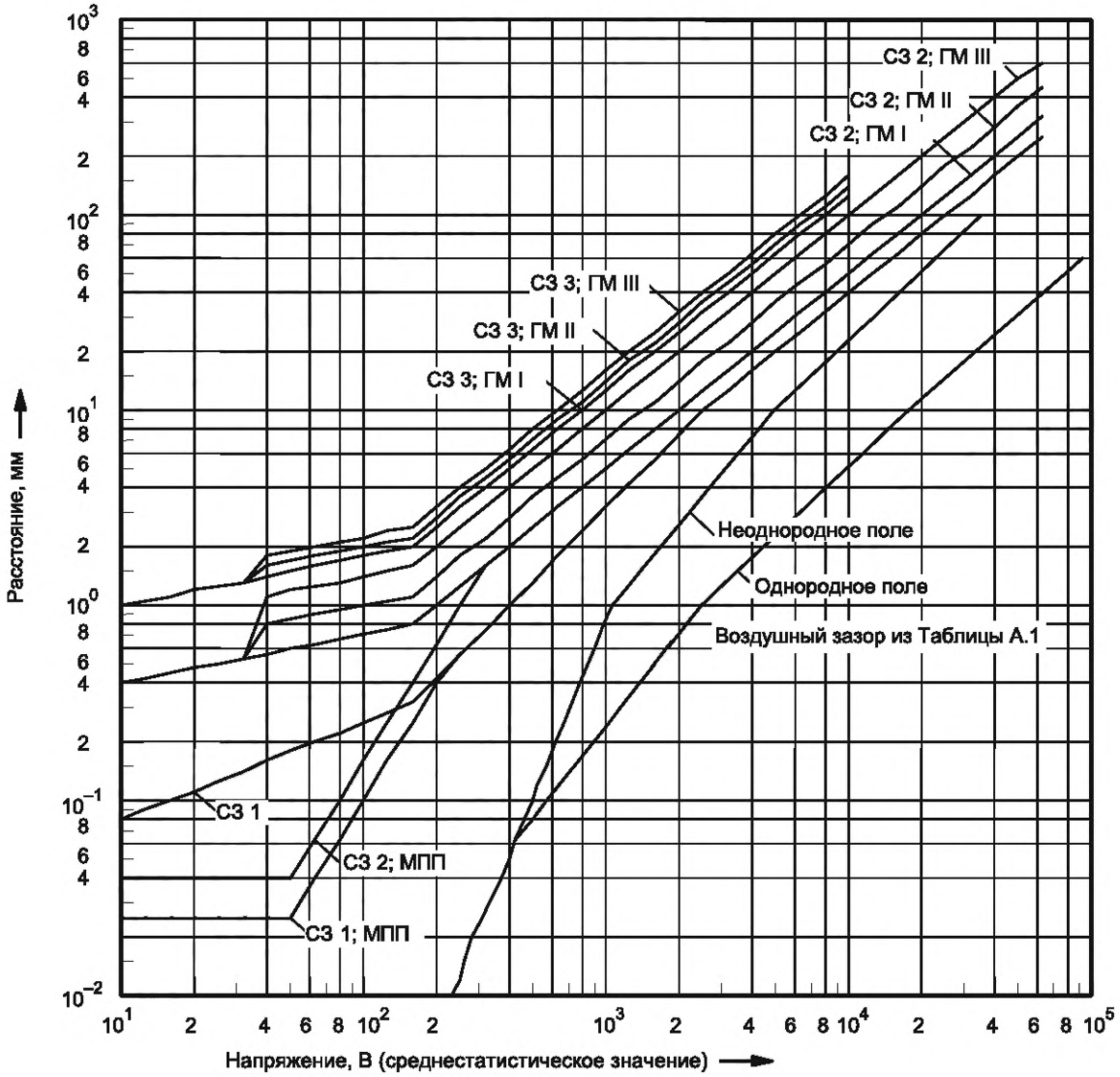
$$U_{затухающее} = U_{гр} \cdot F_1 = U_{гр} \cdot 1{,}2.$$

D.4.3.2 Начальное значение испытательного напряжения частичного разряда U_1 (основная изоляция)

$$U_1 = U_{гр} \cdot F_1 \cdot F_2 = U_{гр} \cdot 1{,}5.$$

Приложение Е
(справочное)

Сравнение путей утечки, приведенных в таблице F.5, и воздушных зазоров из таблицы А.1



СЗ — степень загрязнения;
ГМ — группа материала;
МПП — материал печатной платы.

Рисунок Е.1 — Сравнение между путями утечки, приведенными в таблице F.5, и воздушными зазорами из таблицы А.1

Приложение F
(обязательное)

Таблицы

Таблица F.1 — Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение для оборудования, питающееся непосредственно от электрической сети

Номинальное напряжение электрической сети [a] в соответствии с IEC 60038 [c]		Напряжение между фазой и нейтралью, полученное из номинальных напряжений переменного или постоянного тока [a], до и включительно, В	Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение [b], В			
Трехфазное напряжение, В	Однофазное напряжение, В		Категория перенапряжения [d]			
			I	II	III	IV
—	—	50	330	500	800	1 500
		100	500	800	1 500	2 500
	120—240	150 [e]	800	1 500	2 500	4 000
230/400, 277/480	—	300	1 500	2 500	4 000	6 000
400/690	—	600	2 500	4 000	6 000	8 000
1 000	—	1 000	4 000	6 000	8 000	12 000
—	> 1 000 ≤ 1 250 [f]	1 250 [f]	4 000	6 000	8 000	12 000
—	> 1 250 ≤ 1 500 [f]	1 500 [f]	6 000	8 000	10 000	15 000

[a] Для применения действующих различных низковольтных электрических сетей и их номинальных напряжений см. приложение B.

[b] Оборудование с этими номинальными импульсными выдерживаемыми напряжениями может применяться в установках в соответствии с IEC 60364-4-44.

[c] Знак «/» указывает на четырехпроводную трехфазную распределительную систему. Меньшее значение соответствует напряжению между фазой и нейтралью, а большее значение соответствует напряжению между фазами. Если указано только одно значение, оно относится к трехпроводным, трехфазным системам и указывает линейное значение.

[d] См. 4.3 для пояснения категорий перенапряжения.

[e] Номинальные напряжения для однофазных систем в Японии составляют 100 В или 100—200 В. Однако значение номинального импульсного выдерживаемого напряжения для этих напряжений определяется из столбцов, применимых к напряжению между фазой и нейтралью 150 В (см. приложение B).

[f] Только для значений постоянного тока.

Таблица F.2 — Воздушные зазоры для выдерживания переходных перенапряжений

Требуемое импульсное выдерживаемое напряжение [a], кВ	Минимальные воздушные зазоры на высоте до 2 000 м над уровнем моря, мм					
	Случай A — неоднородное поле (см. 3.1.27)			Случай B — однородное поле (см. 3.1.26)		
	Степень загрязнения [e]			Степень загрязнения [e]		
	1	2	3	1	2	3
0,33 [b]	0,01	0,2 [c, d]	0,8 [d]	0,01	0,2 [c, d]	0,8 [d]
0,40	0,02			0,02		
0,50 [b]	0,04			0,04		
0,60	0,06			0,06		
0,80 [b]	0,10			0,10		
1,0	0,15			0,15		

Окончание таблицы F.2

Требуемое импульсное выдерживаемое напряжение [a], кВ	Минимальные воздушные зазоры на высоте до 2 000 м над уровнем моря, мм					
	Случай А — неоднородное поле (см. 3.1.27)			Случай В — однородное поле (см. 3.1.26)		
	Степень загрязнения [e]			Степень загрязнения [e]		
	1	2	3	1	2	3
1,2	0,25	0,25	0,8 [d]	0,2	0,2 [c, d]	0,8 [d]
1,5 [b]	0,5	0,5		0,3	0,3	
2,0	1,0	1,0	1,0	0,45	0,45	
2,5 [b]	1,5	1,5	1,5	0,60	0,60	
3,0	2,0	2,0	2,0	0,80	0,80	
4,0 [b]	3,0	3,0	3,0	1,2	1,2	1,2
5,0	4,0	4,0	4,0	1,5	1,5	1,5
6,0 [b]	5,5	5,5	5,5	2,0	2,0	2,0
8,0 [b]	8,0	8,0	8,0	3,0	3,0	3,0
10	11	11	11	3,5	3,5	3,5
12 [b]	14	14	14	4,5	4,5	4,5
15	18	18	18	5,5	5,5	5,5
20	25	25	25	8,0	8,0	8,0
25	33	33	33	10	10	10
30	40	40	40	12,5	12,5	12,5
40	60	60	60	17	17	17
50	75	75	75	22	22	22
60	90	90	90	27	27	27
80	130	130	130	35	35	35
100	170	170	170	45	45	45

[a] Данное напряжение является:

- для функциональной изоляции, для основной изоляции, подвергаемой воздействию напрямую или значительному влиянию переходных перенапряжений от электрической сети (см. 5.2.2.2, 5.2.2.3 и 5.2.4) — номинальным импульсным выдерживаемым напряжением оборудования,
- для остальной основной изоляции (см. 5.2.5) — наибольшим импульсным напряжением, которое может возникнуть в цепи.

[b] Предпочтительные значения, как указано в 4.2.2.1.

[c] Для материала печатной платы применяются значения для степени загрязнения 1, за исключением того, что значение не должно быть менее 0,04 мм, как указано в таблице F.5. Минимальным требованием для уменьшения воздушного зазора является защита с помощью высококачественного паяльного резиста.

[d] Минимальные воздушные зазоры, указанные для степеней загрязнения 2 и 3, основаны на сниженных выдерживаемых характеристиках соответствующего пути утечки в условиях влажности.

[e] Размеры для степени загрязнения 4 такие же, как и для степени загрязнения 3, за исключением того, что минимальный воздушный зазор составляет 1,6 мм.

Таблица F.3 — Однофазные трехпроводные или двухпроводные системы переменного или постоянного тока

Номинальное напряжение электрических сетей [b], В	Напряжения, рационализированные для таблицы F.5, В	
	Для изоляции между фазами [a]	Для изоляции между фазой и заземлением [a]
	Все системы	Трехпроводные системы с заземленной средней точкой
12,5	12,5	—
24 25	25	—
30	32	—
42 48 50 [c]	50	—
60	63	—
30—60	63	32
100 [c]	100	—
110 120	125	—
150 [c]	160	—
200	200	—
100—200	200	100
220	250	—
110—220 120—240	250	125
300 [c]	320	—
220—440	500	250
600 [c]	630	—
480—960	1 000	500
1 000 [c]	1 000	—
1 500 [c, d]	1 500	—

[a] Уровень изоляции между фазой и землей для незаземленных систем или систем электрических сетей с заземленной через сопротивление нейтралью такой же, как и между фазами, поскольку рабочее напряжение относительно земли любой фазы на практике может приближаться к полному напряжению между фазами. Это связано с тем, что фактическое напряжение относительно земли определяется сопротивлением изоляции и емкостным сопротивлением каждой фазы относительно земли. Таким образом, низкое (но приемлемое) сопротивление изоляции одной фазы может фактически заземлить ее и поднять две другие до полного напряжения между фазами относительно земли.

[b] Для соотношения с номинальным напряжением см. 5.3.2.2.

[c] Эти значения соответствуют значениям, приведенным в таблице F.1.

[d] Только для значений постоянного тока.

Таблица F.4 — Трехфазные четырехпроводные или трехпроводные системы переменного тока

Номинальное напряжение электрических сетей [c], В	Напряжения рационализированные для таблицы F.5, В		
	Для изоляции между фазами	Для изоляции между фазой и заземлением	
	Все системы	Трехфазные четырехпроводные системы с заземленной нейтралью [b]	Трехфазные трехпроводные системы без заземления [a] или системы типа треугольник с заземленной фазой
60	63	32	63
110 120 127	125	80	125
150 [d]	160	—	160
200	200	—	200
208	200	125	200
220 230 240	250	160	250
300 [d]	320	—	320
380 400 415	400	250	400
440	500	250	500
480 500	500	320	500
575	630	400	630
600 [d]	630	—	630
660 690	630	400	630
720 830	800	500	800
960	1 000	630	1 000
1 000 [d]	1 000	—	1 000

[a] Уровень изоляции между фазой и землей для незаземленных систем или систем электрических сетей с заземленной через сопротивление нейтралью такой же, как и между фазами, поскольку рабочее напряжение относительно земли любой фазы на практике может приближаться к полному напряжению между фазами. Это связано с тем, что фактическое напряжение относительно земли определяется сопротивлением изоляции и емкостным сопротивлением каждой фазы относительно земли. Таким образом, низкое (но приемлемое) сопротивление изоляции одной фазы может фактически заземлить ее и поднять две другие до полного напряжения между фазами относительно земли.

[b] Для оборудования, предназначенного для применения как с трехфазным четырехпроводным, так и с трехфазным трехпроводным питанием, заземленным и незаземленным, используются значения только для трехпроводных систем.

[c] Для соотношения с номинальным напряжением см. 5.3.2.2.

[d] Эти значения соответствуют значениям, приведенным в таблице F.1.

Таблица F.5 — Пути утечки, исключающие выход из строя вследствие трекинга

Среднеквадратическое напряжение [a, e], В	Минимальные значения длины пути утечки, мм								
	Материал печатной платы								
	Степень загрязнения								
	1	2 [f]	1	2			3		
	Группа материала								
	Все	Все, кроме IIIb	Все	I	II	III	I	II	III [b]
10	0,025	0,040	0,080	0,400	0,400	0,400	1,000	1,000	1,000
12,5	0,025	0,040	0,090	0,420	0,420	0,420	1,050	1,050	1,050
16	0,025	0,040	0,100	0,450	0,450	0,450	1,100	1,100	1,100
20	0,025	0,040	0,110	0,480	0,480	0,480	1,200	1,200	1,200
25	0,025	0,040	0,125	0,500	0,500	0,500	1,250	1,250	1,250
32	0,025	0,040	0,14	0,53	0,53	0,53	1,30	1,30	1,30
40	0,025	0,040	0,16	0,56	0,80	1,10	1,40	1,60	1,80
50	0,025	0,040	0,18	0,60	0,85	1,20	1,50	1,70	1,90
63	0,040	0,063	0,20	0,63	0,90	1,25	1,60	1,80	2,00
80	0,063	0,100	0,22	0,67	0,95	1,30	1,70	1,90	2,10
100	0,100	0,160	0,25	0,71	1,00	1,40	1,80	2,00	2,20
125	0,160	0,250	0,28	0,75	1,05	1,50	1,90	2,10	2,40
160	0,250	0,400	0,32	0,80	1,10	1,60	2,00	2,20	2,50
200	0,400	0,630	0,42	1,00	1,40	2,00	2,50	2,80	3,20
250	0,560	1,000	0,56	1,25	1,80	2,50	3,20	3,60	4,00
320	0,75	1,60	0,75	1,60	2,20	3,20	4,00	4,50	5,00
400	1,0	2,0	1,0	2,0	2,8	4,0	5,0	5,6	6,3
500	1,3	2,5	1,3	2,5	3,6	5,0	6,3	7,1	8,0 (7,9) [d]
630	1,8	3,2	1,8	3,2	4,5	6,3	8,0 (7,9) [d]	9,0 (8,4) [d]	10,0 (9,0) [d]
800	2,4	4,0	2,4	4,0	5,6	8,0	10,0 (9,0) [d]	11,0 (9,6) [d]	12,5 (10,2) [d]
1 000	3,2	5,0	3,2	5,0	7,1	10,0	12,5 (10,2) [d]	14,0 (11,2) [d]	16,0 (12,8) [d]
1 250	—	—	4,2	6,3	9,0	12,5	16,0 (12,8) [d]	18,0 (14,4) [d]	20,0 (16,0) [d]
1 600	—	—	5,6	8,0	11,0	16,0	20,0 (16,0) [d]	22,0 (17,6) [d]	25,0 (20,0) [d]
2 000	—	—	7,5	10,0	14,0	20,0	25,0 (20,0) [d]	28,0 (22,4) [d]	32,0 (25,6) [d]
2 500	—	—	10,0	12,5	18,0	25,0	32,0 (25,6) [d]	36,0 (28,8) [d]	40,0 (32,0) [d]

Окончание таблицы F.5

Средне-квадратическое напряжение [a, e], В	Минимальные значения длины пути утечки, мм								
	Материал печатной платы								
	Степень загрязнения								
	1	2 [f]	1	2			3		
	Группа материала								
	Все	Все, кроме IIIb	Все	I	II	III	I	II	III [b]
3 200	—	—	12,5	16,0	22,0	32,0	40,0 (32,0) [d]	45,0 (36,0) [d]	50,0 (40,0) [d]
4 000	—	—	16,0	20,0	28,0	40,0	50,0 (40,0) [d]	56,0 (44,8) [d]	63,0 (50,4) [d]
5 000	—	—	20,0	25,0	36,0	50,0	63,0 (50,4) [d]	71,0 (56,8) [d]	80,0 (64,0) [d]
6 300	—	—	25,0	32,0	45,0	63,0	80,0 (64,0) [d]	90,0 (72,0) [d]	100,0 (80,0) [d]
8 000	—	—	32,0	40,0	56,0	80,0	100,0 (80,0) [d]	110,0 (88,0) [d]	125,0 (100,0) [d]
10 000	—	—	40,0	50,0	71,0	100,0	125,0 (100,0) [d]	140,0 (112,0) [d]	160,0 (128,0) [d]
12 500	—	—	50,0 [c]	63,0 [c]	90,0 [c]	125,0 [c]	—	—	—
16 000	—	—	63,0 [c]	80,0 [c]	110,0 [c]	160,0 [c]	—	—	—
20 000	—	—	80,0 [c]	100,0 [c]	140,0 [c]	200,0 [c]	—	—	—
25 000	—	—	100,0 [c]	125,0 [c]	180,0 [c]	250,0 [c]	—	—	—
32 000	—	—	125,0 [c]	160,0 [c]	220,0 [c]	320,0 [c]	—	—	—
40 000	—	—	160,0 [c]	200,0 [c]	280,0 [c]	400,0 [c]	—	—	—
50 000	—	—	200,0 [c]	250,0 [c]	360,0 [c]	500,0 [c]	—	—	—
63 000	—	—	250,0 [c]	320,0 [c]	450,0 [c]	600,0 [c]	—	—	—

Примечание — Высокая точность значений расстояний утечки, приведенных в данной таблице, не означает, что погрешность измерения будет иметь величину того же порядка.

[a] Данное напряжение является для:

- функциональной изоляции (см. 5.3.4) — установившимся рабочим напряжением;
- основной и дополнительной изоляции цепи, питающейся непосредственно от электрической сети (см. 5.3.5), — напряжением, рационализированным по таблице F.3 или F.5, основанным на номинальном напряжении оборудования или номинальном напряжении изоляции;
- основной и дополнительной изоляции системы, оборудования и внутренних цепей, не питающихся непосредственно от электрической сети (см. 5.3.5), — наибольшим среднеквадратичным напряжением, которое может возникнуть в системе, оборудовании или внутренней цепи, при питании номинальным напряжением и при наиболее неблагоприятном сочетании условий эксплуатации в пределах номинальных значений оборудования.

[b] Для степени загрязнения 3 и напряжения более 630 В не рекомендуется применять группу материалов IIIb.

[c] Предварительные данные на основе экстраполяции. Технические комитеты, располагающие другой информацией, основанной на собственных опытных данных, могут использовать свои значения размеров.

[d] Значения, указанные в скобках, могут применяться для уменьшения пути утечки в случае использования ребер (см. 5.3.3.7).

[e] Допускается линейная интерполяция между двумя значениями напряжения (см. 5.3.4, 5.3.5).

[f] См. 5.3.3.8.

Таблица F.6 — Испытательные напряжения для проверки воздушных зазоров, но на разных высотах

Номинальное импульсное выдерживаемое напряжение $\hat{U}$, кВ	Импульсное испытательное напряжение на уровне моря $\hat{U}$, кВ	Импульсное испытательное напряжение на высоте 200 м над уровнем моря $\hat{U}$, кВ	Импульсное испытательное напряжение на высоте 500 м над уровнем моря $\hat{U}$, кВ
0,33	0,357	0,355	0,350
0,5	0,541	0,537	0,531
0,8	0,934	0,920	0,899
1,5	1,751	1,725	1,685
2,5	2,920	2,874	2,808
4,0	4,923	4,824	4,675
6,0	7,385	7,236	7,013
8,0	9,847	9,648	9,350
10,0	12,309	12,060	11,688
12,0	14,770	14,471	14,025
15,0	18,464	18,091	17,533

Примечание 1 — Пояснения относительно факторов (атмосферное давление, высота над уровнем моря, температура, относительная влажность), влияющих на электрическую прочность воздушных зазоров, приведены в 4.7, а поправочные коэффициенты — в 6.2.2.1.4.

Примечание 2 — При испытании воздушных зазоров испытательному напряжению будет подвергаться соответствующая твердая изоляция. Поскольку импульсное испытательное напряжение, указанное в таблице F.6, увеличено относительно номинального выдерживаемого импульсного напряжения, то твердая изоляция должна быть спроектирована соответствующим образом. Это приводит к увеличению импульсной выдерживающей способности твердой изоляции.

Таблица F.7 — Требования к кондиционированию твердой изоляции

Испытание	Температура, °С	Относительная влажность, %	Продолжительность, ч	Количество циклов
a) Сухое тепло	+55	—	48	1
b) Изменение температуры с заданной скоростью изменения, испытание Nb по IEC 60068-2-14:2009	От –10 до +55	—	Длительность цикла — 24	3
c) Тепловой удар (быстрое изменение температуры, испытание Na по IEC 60068-2-14:2009)	От –10 до +55	—	[b]	—
d) Влажное тепло, постоянный режим	30/40 [a]	93	96	1

Примечание — Для испытания влажным теплом в некоторых стандартах до сих пор используется температура 25 °С.

[a] Стандартная температура испытания влажным теплом указана в IEC 60068-2-78.

[b] Длительность изменения температуры зависит от тепловой постоянной времени испытуемого образца, см. IEC 60068-2-14:2009.

Таблица F.8 — Определение размеров воздушных зазоров для выдерживания установившихся пиковых напряжений, временных перенапряжений или повторяющихся пиковых напряжений [b]

Напряжение [a] (пиковое значение) [b], кВ	Минимальные воздушные зазоры на высоте до 2 000 м над уровнем моря, мм	
	Случай А — условия неоднородного поля (см. 3.1.27)	Случай В — условия однородного поля (см. 3.1.26)
0,04	0,001 [c]	0,001 [c]
0,06	0,002 [c]	0,002 [c]
0,1	0,003 [c]	0,003 [c]
0,12	0,004 [c]	0,004 [c]
0,15	0,005 [c]	0,005 [c]
0,20	0,006 [c]	0,006 [c]
0,25	0,008 [c]	0,008 [c]
0,33	0,01	0,01
0,4	0,02	0,02
0,5	0,04	0,04
0,6	0,06	0,06
0,8	0,13	0,1
1,0	0,26	0,15
1,2	0,42	0,2
1,5	0,76	0,3
2,0	1,27	0,45
2,5	1,8	0,6
3,0	2,4	0,8
4,0	3,8	1,2
5,0	5,7	1,5
6,0	7,9	2
8,0	11,0	3
10	15,2	3,5
12	19	4,5
15	25	5,5
20	34	8
25	44	10
30	55	12,5
40	77	17
50	100	22
60	—	27
80		35
100		45

Окончание таблицы F.8

Примечание — Если на воздушные зазоры воздействуют установившиеся пиковые напряжения значением 2,5 кВ или более, то размеры, соответствующие величине пробоя из таблицы F.8, не могут обеспечить работу без появления коронарных разрядов (частичных разрядов), особенно в условиях неоднородного поля. Для того чтобы обеспечить работу без коронарного разряда, предпочтительно либо использовать большие размеры воздушных зазоров, как указано в таблице F.9, либо улучшить распределение поля.

[a] Значения воздушных зазоров для других напряжений определяют путем интерполяции.

[b] Для установившегося пикового напряжения и повторяющегося пикового напряжения см. рисунок 1.

[c] Эти значения основаны на экспериментальных данных, полученных при атмосферном давлении.

Таблица F.9 — Дополнительная информация для определения размеров воздушных зазоров, исключающих частичный разряд

Напряжение [a] (пиковое значение) [b], кВ	Минимальные воздушные зазоры на высоте до 2 000 м над уровнем моря, мм
	Случай А — условия неоднородного поля (см. 3.1.27)
0,04	Как указано для случая А из таблицы F.8
0,06	
0,1	
0,12	
0,15	
0,20	
0,25	
0,33	
0,4	
0,5	
0,6	
0,8	
1,0	
1,2	
1,5	
2,0	
2,5	2,0
3,0	3,2
4,0	11
5,0	24
6,0	64
8,0	184
10	290
12	320

Окончание таблицы F.9

Напряжение [a] (пиковое значение) [b], кВ	Минимальные воздушные зазоры на высоте до 2 000 м над уровнем моря, мм
	Случай А — условия неоднородного поля (см. 3.1.27)
15	c
20	
25	
30	
40	
50	
60	
80	
100	

Примечание — Если на воздушные зазоры воздействуют установившиеся пиковые напряжения значением 2,5 кВ или более, то размеры, соответствующие величине пробоя из таблицы F.8, не могут обеспечить работу без появления коронарных разрядов (частичных разрядов), особенно в условиях неоднородного поля. Для того чтобы обеспечить работу без коронарного разряда, предпочтительно либо использовать большие размеры воздушных зазоров, как указано в таблице F.9, либо улучшить распределение поля.

[a] Значения воздушных зазоров для других напряжений определяют путем интерполяции.

[b] Для установившегося пикового напряжения и повторяющегося пикового напряжения см. рисунок 1.

[c] В условиях неоднородного поля невозможно определить размеры без частичного разряда.

Таблица F.10 — Поправочные коэффициенты для изменения воздушных зазоров

Высота, м	Поправочный коэффициент k_d для воздушных зазоров
0	0,784
200	0,803
500	0,833
1 000	0,884
2 000	1,000

Приложение G
(справочное)

Определение воздушных зазоров в соответствии с 5.2

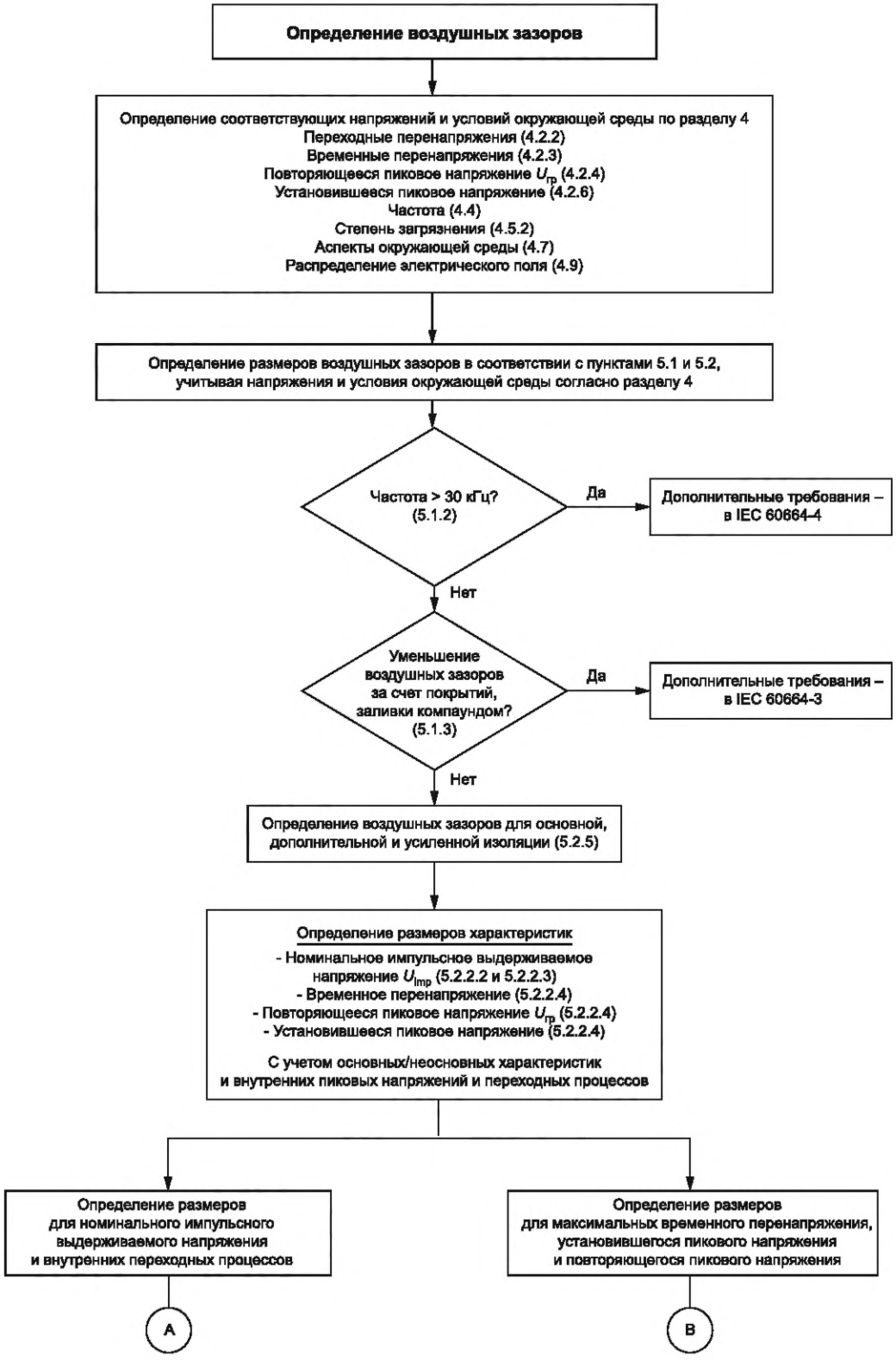
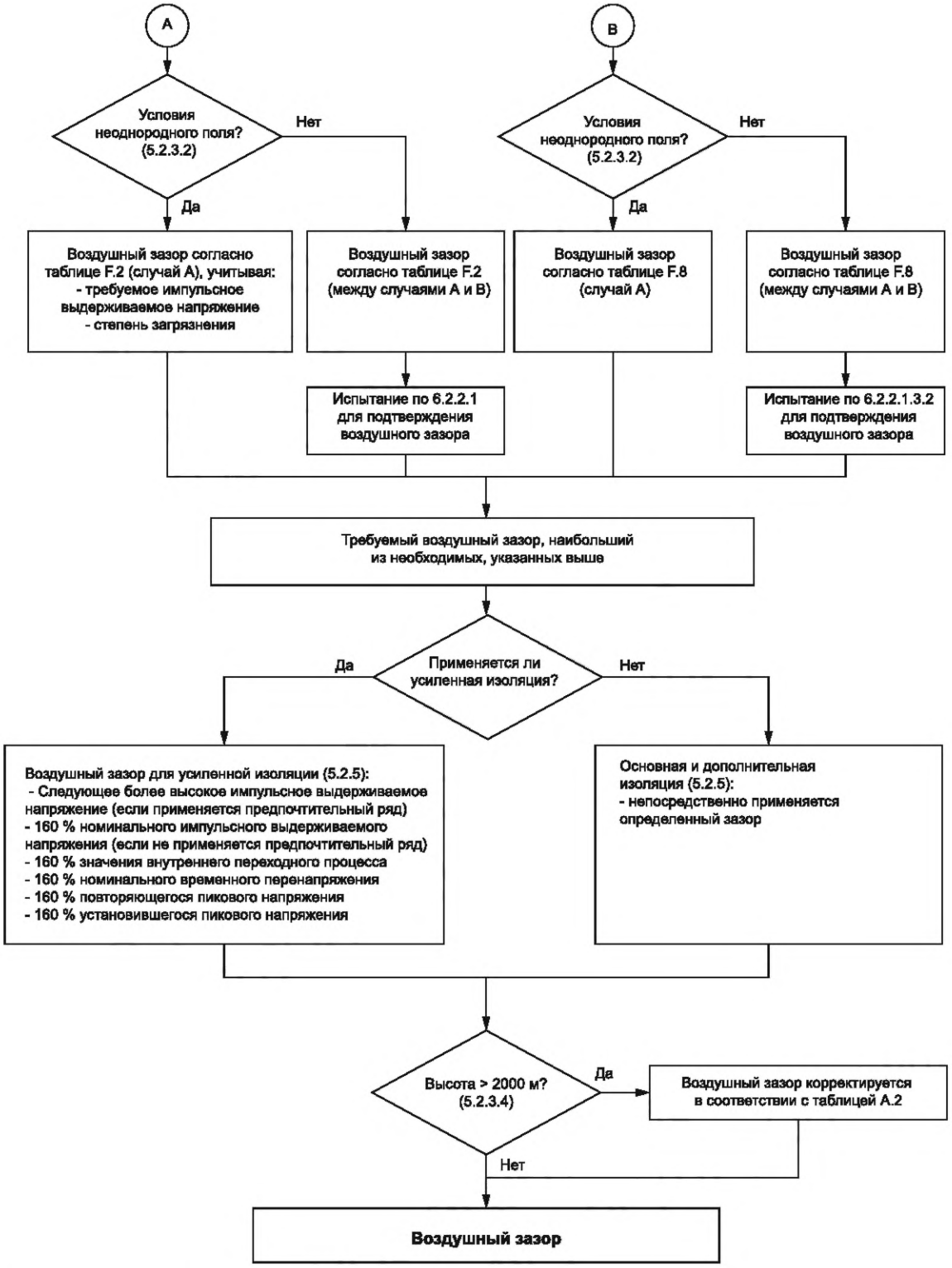


Рисунок G.1, лист 1 — Определение воздушных зазоров в соответствии с 5.2



Примечание 1 — Эта блок-схема представлена только как справочная информация для лучшего понимания содержания 5.2. Обязательные требования приведены в 5.2.

Примечание 2 — Размеры функциональной изоляции могут быть определены аналогичным образом с учетом требований 5.2 и 5.2.4.

Примечание 3 — Если соблюдены требования защиты типа 1 по IEC 60664-3, то применяется степень загрязнения 1 по IEC 60664-1.

Рисунок G.1, лист 2

Приложение Н
(справочное)

Определение путей утечки в соответствии с 5.3

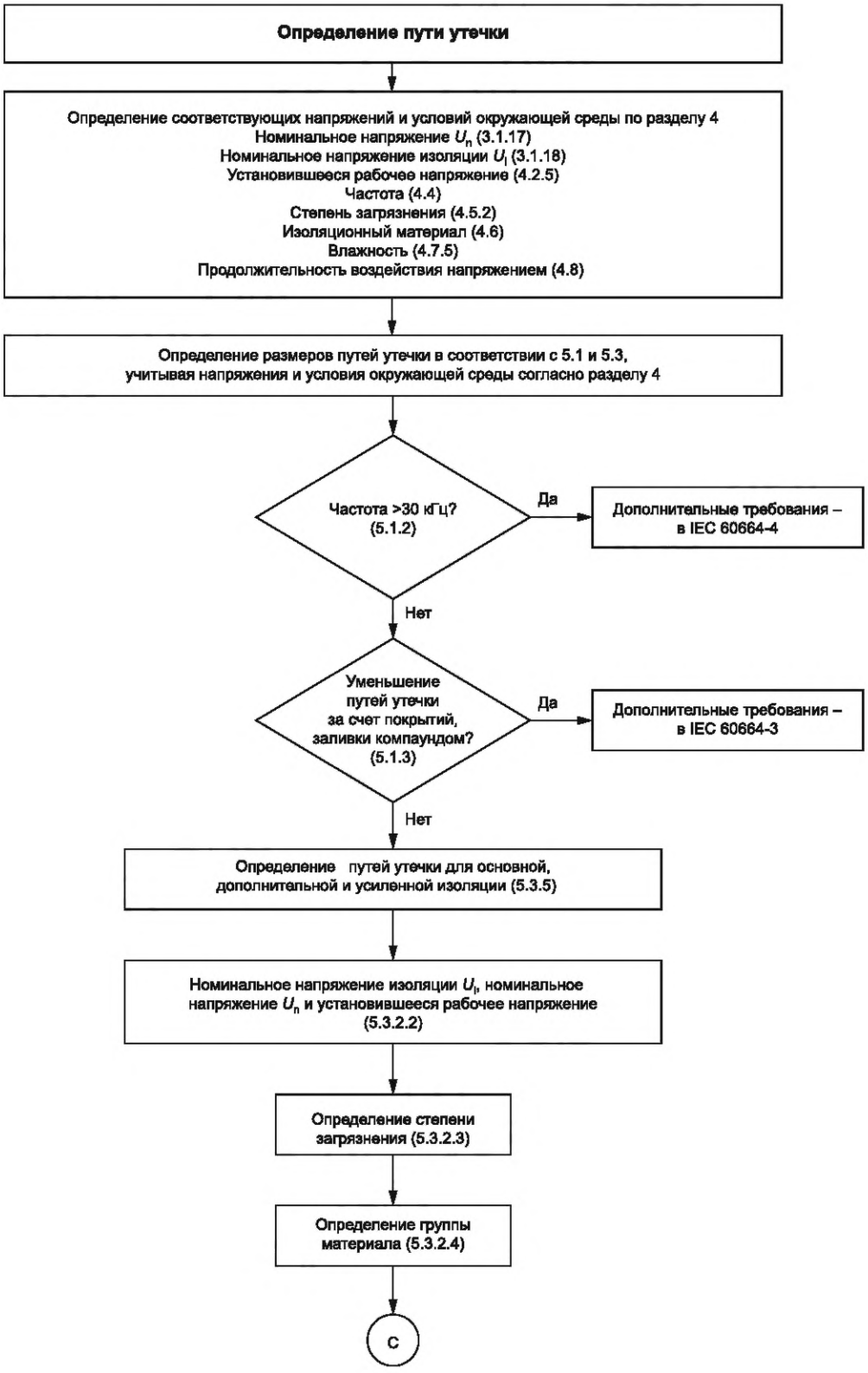
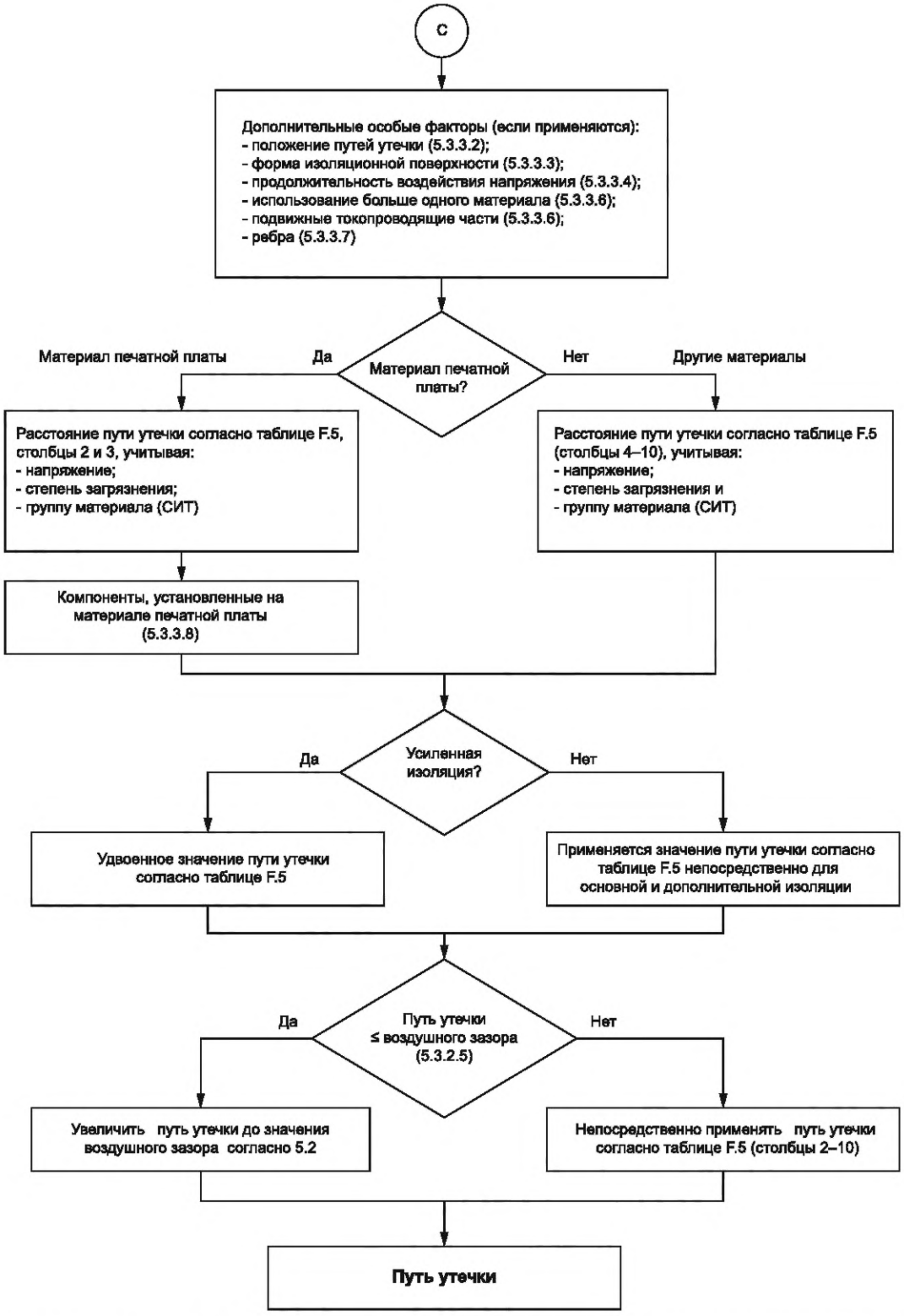


Рисунок Н.1, лист 1 — Определение путей утечки в соответствии с 5.3



Примечание 1 — Эта блок-схема представлена только как справочная информация для лучшего понимания содержания 5.3. Обязательные требования приведены в 5.3.

Примечание 2 — Размеры функциональной изоляции могут быть определены аналогичным образом с учетом 5.3 и 5.3.4.

Примечание 3 — Если соблюдены требования защиты типа 1 по IEC 60664-3, то применяется степень загрязнения 1 по IEC 60664-1.

Рисунок H.1, лист 2

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 60068-2-2	—	*, [1]
IEC 60068-2-14:2009	—	*
IEC 60068-2-78	—	*, [2]
IEC 60270	—	*, [3]
IEC 61140:2016	—	*, [4]
IEC 61180:2016	—	*
* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.		

[1] В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60068-2-2—2009 «Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-2. Испытания. Испытание B: Сухое тепло» (IEC 60068-2-2:2007).

[2] В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60068-2-78—2009 «Испытания на воздействия внешних факторов. Часть 2-78. Испытания. Испытание Cab: Влажное тепло, постоянный режим» (IEC 60068-2-78:2001).

[3] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 55191—2012 (МЭК 60270:2000) «Методы испытаний высоким напряжением. Измерения частичных разрядов».

[4] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 58698—2019 (МЭК 61140:2016) «Защита от поражения электрическим током. Общие положения для электроустановок и электрооборудования».

Библиография

[1] IEC 60038:2009 IEC standard voltages (Стандартные напряжения, рекомендуемые IEC)

[2] IEC 60216 (all parts) Electrical insulating materials — Thermal endurance properties (Материалы электроизоляционные. Свойства термостойкости)

[3] IEC 60050-151 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 151: Electrical and magnetic devices (available at gost.e-ecolog.ru) (Международный электротехнический словарь. Часть 151. Электрические и магнитные устройства)

[4] IEC 60050-195 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 195: Earthing and protection against electric shock (available at gost.e-ecolog.ru) (Международный электротехнический словарь. Часть 195. Заземление и защита от поражения электрическим током)

[5] IEC 60050-212 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases (available at gost.e-ecolog.ru) (Международный электротехнический словарь. Часть 212. Твердые, жидкие и газообразные электроизоляционные материалы)

[6] IEC 60050-312 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 312: General terms relating to electrical measurements (available at gost.e-ecolog.ru) (Международный электротехнический словарь. Часть 312. Общие термины, относящиеся к электрическим измерениям)

[7] IEC 60050-442 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 442: Electrical accessories (available at http://gost.e-ecolog.ru) (Международный электротехнический словарь. Часть 442. Электрические аксессуары)

[8] IEC 60050-581 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 581: Electromechanical components for electronic equipment (available at gost.e-ecolog.ru) (Международный электротехнический словарь. Часть 581. Электромеханические компоненты для электронной аппаратуры)

[9] IEC 60050-601 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 601: Generation, transmission and distribution of electricity — General (available at gost.e-ecolog.ru) (Международный электротехнический словарь. Часть 601. Производство, передача и распределение электрической энергии. Общие понятия)

[10] IEC 60050-614 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 614: Generation, transmission and distribution of electricity — Operation (available at gost.e-ecolog.ru) (Международный электротехнический словарь. Часть 614. Производство, передача и распределение электроэнергии. Эксплуатация)

[11] IEC 60050-826 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 826: Electrical installations (available at http://gost.e-ecolog.ru) (Международный электротехнический словарь. Часть 826. Электрические установки)

[12] IEC 60050-851 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 851: Electric welding (available at gost.e-ecolog.ru electropedia.org) (Международный электротехнический словарь. Часть 851. Электросварка)

[13] IEC 60050-903 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Part 903: Risk assessment (available at http://gost.e-ecolog.ru) (Международный электротехнический словарь. Часть 903. Оценка риска)

[14] IEC 60068 (all parts) Environmental testing (Испытания на воздействие внешних факторов)

[15] IEC 60068-1:2013 Environmental testing — Part 1: General and guidance (Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство)

[16] IEC 60085:2007 Electrical insulation — Thermal evaluation and designation (Изоляция электрическая. Термическая оценка и обозначение)

[17] IEC 60112:2003/AMD1:2009 Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials (Метод определения контрольного и сравнительного индексов трекингостойкости твердых изоляционных материалов)

[18] IEC 60364-4-44:2007/AMD1:2015, IEC 60364-4-44:2007/AMD2:2018 Low-voltage electrical installations — Part 4-44: Protection for safety — Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances (Электроустановки низковольтные. Часть 4-44. Защита в целях безопасности. Защита от резких отклонений напряжения и электромагнитных помех)

[19] IEC 60529 Degrees of protection provided by enclosures (IP Code) (Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)

[20] IEC TR 60664-2-1 Insulation coordination for equipment within low-voltage systems — Part 2-1: Application guide — Explanation of the application of the IEC 60664 series, dimensioning examples and dielectric testing (Координация изоляции для оборудования низковольтных систем. Часть 2-1. Руководство по применению. Пояснение применения стандартов серии IEC 60664, примеры по размерности и испытание изоляции)

[21] IEC 60664-3:2016 Insulation coordination for equipment within low-voltage systems — Part 3: Use of coating, potting or moulding for protection against pollution (Координация изоляции для оборудования низковольтных систем. Часть 3. Использование покрытий, герметизации и формовки для защиты от загрязнения)

[22] IEC 60664-4:2005 Insulation coordination for equipment within low-voltage systems — Part 4: Consideration of high-frequency voltage stress (Координация изоляции для оборудования низковольтных систем. Часть 4. Анализ высокочастотного напряжения)

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

[24] IEC 61643:2011 Low-voltage surge protective devices (Устройства защиты от перенапряжений низковольтные)

[25] IEC TR 63040:2016 Guidance on clearances and creepage distances in particular for distances equal to or less than 2 mm — Test results of research on influencing parameters (Руководство по изоляционным промежуткам и путям утечки, в том числе для промежутков не больше 2 мм. Результаты испытаний по изучению определяющих параметров)

[26] IEC GUIDE 104:2019 The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications (Подготовка публикаций по безопасности и использование основных публикаций по безопасности и групповых публикаций по безопасности)

[27] IEC GUIDE 116:2018 Guidelines for safety related risk assessment and risk reduction for low voltage equipment (Руководство по оценке рисков, связанных с безопасностью, и снижению рисков для низковольтного оборудования)

[28] ISO/IEC Guide 2:2004 Standardization and related activities — General vocabulary (Стандартизация и связанные с ней виды деятельности. Общий словарь)

[29] ISO/IEC Guide 51:2014 Safety aspects — Guidelines for their inclusion in standards (Аспекты безопасности. Руководство по их включению в стандарты)

[30] PFEIFFER W. Die Stoßspannungsfestigkeit von Luftstrecken kleiner Schlagweite. Elektrotechnische Zeitschrift B, Vol.28(1976), p. 300—302

[31] HERMSTEIN W. Bemessung von Luftstrecken, Insbesondere für 50 Hz-Wechselspannung. Elektrotechnische Zeitschrift. Vol.90(1969), p. 251—255

[32] DAKIN T., LUXA G., OPPERMANN G., VIGREUX J., WIND G., WINKELNKEMPER H. Breakdown of gases in uniform fields, paschen curves for nitrogen, air and sulfur hexafluoride. Electra (issued by CIGRE), Vol.32(1974), p. 61—82

[33] HARTHERZ P., BEN YAHIA K., MÜLLER L., PFENDTNER R., PFEIFFER W. Electrical breakdown experiments in air for micrometer gaps under various pressures. Issued during the 9th International Symposium on Gaseous Dielectrics, Ellicot City, Maryland, USA 2001, p. 333—338

[34] HARTHERZ P. Anwendung der Teilentladungsmeßtechnik zur Fehleranalyse in festen Isolierungen unter periodischer Impulsspannungsbelastung. Dissertation TU Darmstadt; Shaker Verlag, 2002

УДК 621.3:006.354 МКС 29.080.30 IDT

Ключевые слова: координация изоляции, электрическая изоляция, воздушный зазор, путь утечки, измерение, электрическое испытание, электрический пробой

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *Е.А. Кондрашовой*

Сдано в набор 31.07.2024. Подписано в печать 13.08.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 7,11.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
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