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

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 61000-4-4— 2016

Электромагнитная совместимость (ЭМС)

Часть 4-4

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ

Испытание на устойчивость к электрическим быстрым переходным процессам (пачкам)

(IEC 61000 4-4:2012, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

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 Закрытым акционерным обществом «Научно-испытательный центр «САМТЭС» и Техническим комитетом по стандартизации ТК 30 «Электромагнитная совместимость технических средств» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 8 декабря 2016 г. № 50)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Украина	UA	Минэкономразвития Украины

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 декабря 2016 г. № 2051-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 61000-4-4—2016 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2017 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 61000-4-4:2012 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-4. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к электрическим быстрым переходным процессам/пачкам» («Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-4: Testing and measurement techniques — Electrical fast transient/burst immunity test», IDT).

Международный стандарт IEC 61000-4-4:2012 подготовлен подкомитетом 77B «Высокочастотные электромагнитные явления» Технического комитета ТС 77 IEC «Электромагнитная совместимость».

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочного международного стандарта соответствующий ему межгосударственный стандарт, сведения о котором приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

7 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Май 2020 г.

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»

© Стандартинформ, оформление, 2017, 2020

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 и сокращения 2
3.1 Термины и определения 2
3.2 Сокращения 3
4 Общие положения 4
5 Испытательные уровни 4
6 Испытательное оборудование 4
6.1 Обзор 4
6.2 Генератор пачек 4
6.3 Устройство связи/развязки для портов электропитания переменного/постоянного тока 8
6.4 Емкостные клещи связи 10
7 Испытательная установка 11
7.1 Общие положения 11
7.2 Испытательное оборудование 12
7.3 Испытательная установка для типовых испытаний, проводимых в лабораториях 13
7.4 Испытательная установка для испытаний, проводимых на месте установки 17
8 Процедура испытаний 18
8.1 Общие положения 18
8.2 Лабораторные опорные условия 19
8.3 Проведение испытаний 19
9 Оценка результатов испытаний 19
10 Протокол испытаний 20
Приложение А (справочное) Информация об электрических быстрых переходных процессах 21
Приложение В (справочное) Выбор испытательных уровней 23
Приложение С (справочное) Рассмотрение неопределенности измерений 25
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочного международного стандарта межгосударственному стандарту 33
Библиография 34

Введение

Стандарты комплекса IEC 61000 публикуются отдельными частями в соответствии со следующей структурой:

- часть 1. Общие положения:

общее рассмотрение (введение, фундаментальные принципы), определения, терминология;

- часть 2. Электромагнитная обстановка:

описание электромагнитной обстановки, классификация электромагнитной обстановки, уровни электромагнитной совместимости;

- часть 3. Нормы:

нормы электромагнитной эмиссии, нормы помехоустойчивости (в тех случаях, когда они не являются предметом рассмотрения техническими комитетами, разрабатывающими стандарты на продукцию);

- часть 4. Методы испытаний и измерений:

методы измерений, методы испытаний;

- часть 5. Руководства по установке и помехоподавлению:

руководства по установке, методы и устройства помехоподавления;

- часть 6. Общие стандарты;

- часть 9. Разное.

Каждая часть далее подразделяется на несколько частей, которые могут быть опубликованы в качестве международных стандартов, или технических требований, или технических отчетов, некоторые из которых были уже опубликованы как разделы. Другие будут опубликованы с указанием номера части, за которым следует дефис, а затем номер раздела (например, IEC 61000-6-1).

Настоящая часть представляет собой международный стандарт, который устанавливает требования помехоустойчивости и процедуры испытаний, относящиеся к электрическим быстрым переходным процессам (пачкам).

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

Электромагнитная совместимость (ЭМС)

Часть 4-4

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ

Испытание на устойчивость к электрическим быстрым переходным процессам (пачкам)

Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-4. Testing and measurement techniques.
Electrical fast transient (burst) immunity test

Дата введения — 2017—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт применяется для оценки устойчивости электрического и электронного оборудования к повторяющимся электрическим быстрым переходным процессам. Стандарт предназначен для применения при установлении требований помехоустойчивости и процедур испытаний, относящихся к электрическим быстрым переходным процессам (пачкам). Кроме того, в стандарте определены диапазоны испытательных уровней и установлены методы испытаний.

Целью настоящего стандарта является установление общих и воспроизводимых рекомендаций по оценке устойчивости электрического и электронного оборудования при воздействии электрических быстрых переходных процессов (пачек) на порты питания, сигналов, управления и заземления. Метод испытаний, установленный в настоящем стандарте, представляет собой последовательный метод оценки помехоустойчивости оборудования или системы в отношении указанного явления.

Примечание — В соответствии с Руководством IEC 107 настоящий стандарт является основополагающим стандартом ЭМС для применения техническими комитетами IEC, разрабатывающими стандарты на продукцию. Руководство IEC 107 устанавливает также, что технические комитеты, разрабатывающие стандарты на продукцию, ответственны за определение необходимости применения настоящего стандарта для испытаний на помехоустойчивость и (в случае его применения) за выбор испытательных уровней и критериев качества функционирования[1)].

Настоящий стандарт применяется при установлении:

- формы испытательного напряжения;
- диапазонов испытательных уровней;
- испытательного оборудования;
- процедур калибровки и проверки испытательного оборудования;
- испытательной установки;
- процедуры испытания.

Настоящий стандарт устанавливает требования к испытаниям в лаборатории и на месте эксплуатации.

[1)] ТК 77 и его подкомитеты готовы к сотрудничеству с техническими комитетами IEC, разрабатывающими стандарты на продукцию, в оценке уровней конкретных испытаний на помехоустойчивость для соответствующих видов продукции.

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

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по IEC 60050-161, а также следующие термины с соответствующими определениями.

Примечание — Некоторые из наиболее применимых терминов и определений IEC 60050-161 приведены ниже:

3.1.1 **вспомогательное оборудование** (auxiliary equipment, AE): Оборудование, необходимое для обеспечения испытуемого оборудования (ИО) сигналами, требуемыми для нормального функционирования, а также оборудование для проверки качества функционирования ИО.

3.1.2

пачка (burst): Последовательность ограниченного числа отдельных импульсов или колебаний ограниченной продолжительности.

[IEC 60050-161:1990, 161-02-07]

3.1.3

калибровка (calibration): Совокупность операций, устанавливающих посредством ссылок на стандарты соотношение, существующее при определенных условиях между показанием и результатом измерения.

Примечания

1 Термин основан на подходе неопределенности измерений.

2 Соотношение между показаниями и результатами измерения в принципе может быть выражено калибровочной диаграммой.

[IEC 60050-311:2001, 311-01-09]

3.1.4 **связь** (coupling): Взаимодействие между цепями при передаче энергии из одной цепи в другую.

3.1.5 **общий несимметричный режим (связи)** [common mode (coupling)]: Одновременная связь со всеми линиями относительно опорной пластины заземления.

3.5 **клещи связи** (coupling clamp): Устройство с определенными размерами и характеристиками, предназначенное для общей несимметричной связи возмущающего сигнала с испытуемой цепью без гальванического соединения с ней.

3.1.7 **устройство связи** (coupling network): Электрическая цепь, предназначенная для передачи энергии из одной цепи в другую.

3.1.8 **устройство развязки** (decoupling network): Электрическая цепь, предназначенная для предотвращения воздействия электрических быстрых импульсов (пачек), подаваемых на ИО, на другие устройства, оборудование или системы, не подвергаемые испытаниям.

3.1.9

ухудшение качества функционирования [degradation (of performance)]: Нежелательное отклонение качества функционирования любого устройства, оборудования или системы от их установленного качества функционирования.

Примечание — Термин «ухудшение» может применяться как к временным, так и к постоянным нарушениям работы.

[IEC 60050-161:1990, 161-01-19]

3.1.10 **EFT/B:** Электрические быстрые переходные процессы (пачки).

3.1.11

электромагнитная совместимость; ЭМС (electromagnetic compatibility, EMC): Способность оборудования или системы удовлетворительно функционировать в своей электромагнитной обстановке, не создавая недопустимых электромагнитных помех чему-либо в этой обстановке.

[IEC 60050-161:1990, 161-01-07]

3.1.12 **ИО** (EUT): Испытуемое оборудование.

3.1.13 **опорная пластина заземления** (ground reference plane): Плоская проводящая поверхность, потенциал которой используется в качестве общего опорного потенциала.

3.1.14

устойчивость к электромагнитной помехе, помехоустойчивость [immunity (to a disturbance)]: Способность устройства, оборудования или системы функционировать без ухудшения качества в присутствии электромагнитной помехи.

[IEC 60050-161:1990, 161-01-20]

3.1.15 **порт** (port): Конкретный интерфейс ИО с внешней электромагнитной обстановкой.

3.1.16

длительность импульса (pulse width): Интервал времени между первым и последним моментами, когда мгновенное значение достигает 50 % значений возрастающего и падающего фронтов импульса.

[IEC 60050-702:1992, 702-03-04, модифицировано]

3.1.17

время нарастания (rise time): Интервал времени между моментами, когда мгновенное значение импульса достигает вначале 10 %, а затем 90 % пикового значения.

[IEC 60050-161:1990, 161-02-05, модифицировано]

3.1.18

переходный процесс (transient): Термин, обозначающий явление или величину, изменяющуюся между двумя соседними стационарными состояниями за интервал времени, короткий по сравнению с полной рассматриваемой шкалой времени.

[IEC 60050-161:1990, 161-02-01]

3.1.19 **несимметричный режим (связи)** [unsymmetric mode (coupling)]: Связь с одиночной линией относительно опорной пластины заземления.

3.1.20 **проверка** (verification): Совокупность операций, которые используются для проверки системы испытательного оборудования (например, испытательного генератора и соединительных кабелей) и демонстрации того, что испытательная система функционирует в пределах допустимых отклонений характеристик, приведенных в разделе 6.

Примечания

1 Методы, используемые при проверке, могут отличаться от методов, используемых при калибровке.

2 Для целей настоящего основополагающего стандарта ЭМС данное определение отличается от определения, приведенного в IEC 60050-311:2001, 311-01-13.

3.2 Сокращения

AE — вспомогательное оборудование;

CDN — устройство связи/развязки;

GRP — опорная пластина заземления;

MU — неопределенность измерений;

PE — защитное заземление.

4 Общие положения

Испытание на устойчивость к повторяющимся быстрым переходным процессам представляет собой испытание ИО при воздействии пачек переходных процессов, подаваемых на порты электропитания, управления, сигналов и заземления. Существенными особенностями данных испытаний являются высокая амплитуда, малое время нарастания, высокая частота повторения и низкая энергия воздействующих импульсов.

Испытания должны продемонстрировать устойчивость электрического и электронного оборудования к различным переходным электромагнитным помехам, аналогичным возникающим в результате коммутационных процессов (прерываний индуктивных нагрузок, размыканий контактов реле и т. п.).

5 Испытательные уровни

Предпочтительные испытательные уровни, применимые при воздействии электрических быстрых импульсов (пачек) на порты электропитания, управления, сигналов и заземления, приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Испытательные уровни

Выходное испытательное напряжение в режиме холостого хода и частота повторения импульсов				
Уровень	Порт электропитания, порт защитного заземления (PE)		Порт управления и сигнальный порт	
	Пиковое значение напряжения, Кв	Частота повторения импульсов, кГц	Пиковое значение напряжения, кВ	Частота повторения импульсов, кГц
1	0,5	5 или 100	0,25	5 или 100
2	1	5 или 100	0,5	5 или 100
3	2	5 или 100	1	5 или 100
4	4	5 или 100	2	5 или 100
X[1)]	Специальное	Специальная	Специальное	Специальная

[1)] *X* может быть выше, ниже любого уровня или между любыми уровнями. Этот уровень может быть установлен в стандарте на продукцию.

Примечания

1 При испытаниях традиционно используют частоту повторения импульсов 5 кГц, однако частота повторения 100 кГц более соответствует действительности. Технические комитеты, разрабатывающие стандарты на продукцию, должны определить частоту повторения импульсов с учетом условий применения группы однородной продукции или продукции конкретного вида.

2 Для некоторых видов продукции отсутствует четкое различие между портами электропитания и ввода/вывода сигналов. В этом случае технические комитеты должны разграничить их для целей испытаний.

Относительно выбора испытательных уровней см. приложение В.

6 Испытательное оборудование

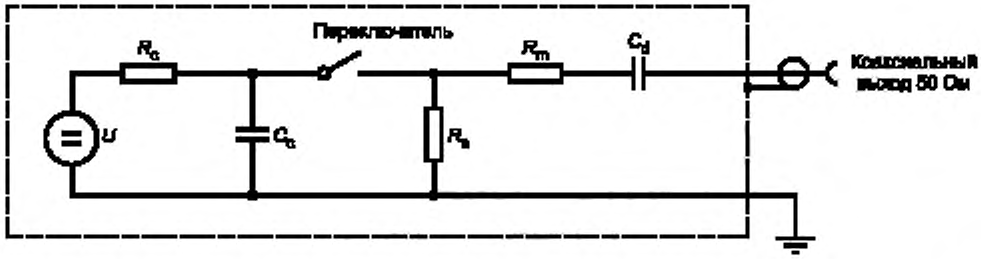
6.1 Обзор

Процедуры калибровки 6.2.3, 6.3.2 и 6.4.2 предназначены для обеспечения правильной работы испытательного генератора, устройств связи/развязки и других устройств, образующих испытательную установку, так чтобы на ИО подавалось испытательное напряжение установленной формы.

6.2 Генератор пачек

6.2.1 Общие положения

Упрощенная схема генератора приведена на рисунке 1. Элементы схемы C_c, R_s, R_m и C_d выбраны так, чтобы генератор создавал электрические быстрые переходные процессы в режиме холостого хода и при резистивной нагрузке сопротивлением 50 Ом.



U — источник высокого напряжения; R_c — зарядный резистор; C_c — накопительный конденсатор, R_s — резистор цепи формирования длительности импульса; R_m — согласующий резистор, C_d — разделительный конденсатор

Примечание — Характеристики переключателя вместе с паразитными элементами схемы (индуктивность и емкость) формируют необходимое время нарастания.

Рисунок 1 — Упрощенная электрическая схема, отображающая основные элементы генератора быстрых переходных процессов (пачек)

Эффективное выходное полное сопротивление генератора должно быть 50 Ом.

6.2.2 Характеристики генератора быстрых переходных процессов (пачек)

Генератор должен иметь следующие характеристики:

- пределы изменения выходного напряжения при нагрузке сопротивлением 1000 Ом — по меньшей мере от 0,24 до 3,8 кВ;

- пределы изменения выходного напряжения при нагрузке сопротивлением 50 Ом — по меньшей мере от 0,125 до 2 кВ.

Генератор должен иметь возможность работать без повреждений в режиме короткого замыкания.

Характеристики:

полярность импульсов . . . . . положительная и отрицательная;

тип выходного соединителя . . . . . коаксиальный, 50 Ом;

емкость разделительного конденсатора. . . . . 10 нФ ± 20 %;

частота повторения импульсов . . . . . значения, указанные в таблице 2, ±20 %;

работа генератора по отношению к фазе

напряжения электропитания . . . . . асинхронная;

длительность пачки импульсов (см. рисунок 2) . . (15 ± 3) мс при частоте повторения 5 кГц,
(0,75 ± 0,15) мс при частоте 100 кГц;

период следования пачек (см. рисунок 2) . . . . . (300 ± 60) мс;

форма импульса:

при нагрузке 50 Ом. . . . . время нарастания t_r = (5 ± 1,5) нс,
длительность t_w = (50 ± 15) нс (по уровню 50 %),
пиковое значение напряжения — в соответствии с таблицей 2, ±10 % (форма импульса при нагрузке 50 Ом, см. рисунок 3);

при нагрузке 1000 Ом. . . . . время нарастания t_r = (5 ± 1,5) нс;
длительность t_w = 50 нс (допустимые отклонения от минус 15 нс до плюс 100 нс);
пиковое значение напряжения — в соответствии с таблицей 2, ±20 % (см. примечание 1 к таблице 2).

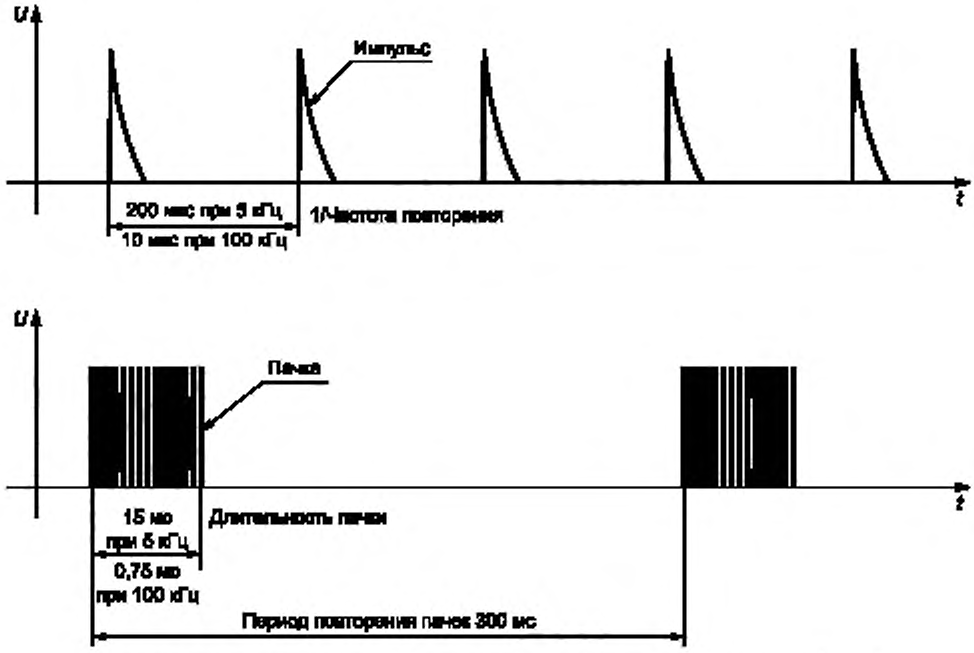


Рисунок 2 — Представление электрических быстрых переходных процессов (пачек)

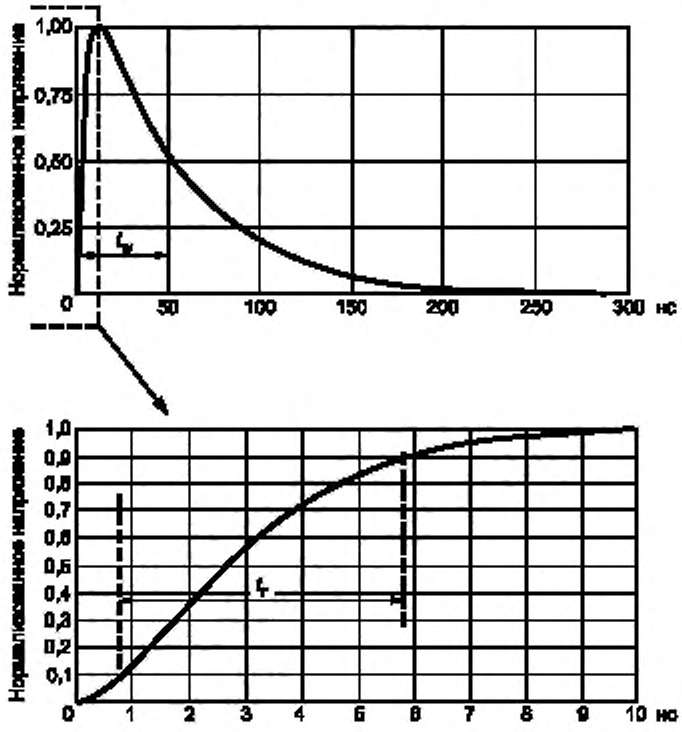


Рисунок 3 — Идеальная форма одиночного импульса при нагрузке 50 Ом с номинальными параметрами t_r = 5 нс и t_w = 50 нс

Формула идеальной кривой, представленной на рисунке 3, $v_{EFT}(t)$, следующая:

$$v_{EFT}(t) = k_v \cdot \left[\frac{v_1}{k_{EFT}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{n_{EFT}}}{1+\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{n_{EFT}}} \cdot e^{\frac{t}{\tau_2}} \right],$$

где $k_{EFT} = e^{\frac{\tau_1}{\tau_2}} \left(\frac{n_{EFT}\tau_2}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{n_{EFT}}}$,

k_v — максимальное или пиковое значение напряжения разомкнутой цепи (k_v = 1 означает нормализованное напряжение);

v_1 = 0,92; τ_1 = 3,5 нс; τ_2 = 51 нс; n_{EFT} = 1,8.

Примечание — Вывод этой формулы приведен в IEC 62305-1:2010, приложение В

6.2.3 Калибровочные характеристики генератора электрических быстрых импульсов (пачек)

Характеристики испытательного генератора должны быть откалиброваны для того, чтобы подтвердить, что они отвечают требованиям настоящего стандарта. Для этого должны быть проведены следующие процедуры.

К выходу испытательного генератора подключают коаксиальную нагрузку сопротивлением 50 и 1000 Ом. Выходное напряжение контролируют с помощью осциллографа. Ширина полосы пропускания осциллографа на уровне 3 дБ должна быть не менее 400 МГц. Полное сопротивление испытательной нагрузки 1000 Ом может быть комплексным. Характеристики полного сопротивления испытательной нагрузки:

- (50 ± 1) Ом;
- (1000 ± 20) Ом; измерение сопротивления производится на постоянном токе.

Допустимые отклонения вносимых потерь обеих испытательных нагрузок не должны превышать следующих значений:

±1 дБ на частотах до 100 МГц;

±3 дБ на частотах от 100 до 400 МГц.

Должны быть измерены следующие параметры:

- пиковое значение напряжения.

Для каждого напряжения из набора напряжений по таблице 2 измеряют выходное напряжение при нагрузке 50 Ом [V_p (50 Ом)]. Каждое измеренное напряжение V_p (50 Ом) должно соответствовать указанному в таблице 2 с допустимым отклонением ±10 %.

При тех же установках генератора (набор напряжений) измеряют выходное напряжение при нагрузке 1000 Ом [V_p (1000 Ом)]. Каждое измеренное напряжение V_p (1000 Ом) должно соответствовать указанному в таблице 2 с допустимым отклонением ±20 %;

- время нарастания для всех напряжений из набора напряжений;
- ширина импульса для всех напряжений из набора напряжений;
- частота повторения импульсов в пределах одной пачки для любого напряжения из набора напряжений;
- длительность пачки импульсов для любого напряжения из набора напряжений;
- период пачки импульсов для любого напряжения из набора напряжений.

Таблица 2 — Пиковые значения выходного напряжения и частоты повторения

Установленное напряжение, кВ	V_p (режим холостого хода), кВ	V_p (1000 Ом), кВ	V_p (50 Ом), кВ	Частота повторения, кГц
0,25	0,25	0,24	0,125	5 или 100
0,5	0,5	0,48	0,25	5 или 100
1	1	0,95	0,5	5 или 100
2	2	1,9	1	5 или 100
4	4	3,8	2	5 или 100

Окончание таблицы 2

Следует принять меры, обеспечивающие сведение паразитной емкости к минимуму. Примечание 1 — Применение нагрузочного резистора сопротивлением 1000 Ом автоматически снижает напряжение из набора напряжений на 5 %, как показано в колонке V_p (1000 Ом). Значение V_p (1000 Ом) равно значению V_p (режим холостого хода), умноженному на коэффициент 1000/1050 [отношение сопротивления испытательной нагрузки 1000 Ом и общего сопротивления цепи (1000 + 50) Ом]. Примечание 2 — При сопротивлении нагрузки 50 Ом измеренное выходное напряжение равно половине напряжения в режиме холостого хода.

6.3 Устройство связи/развязки для портов электропитания переменного/постоянного тока

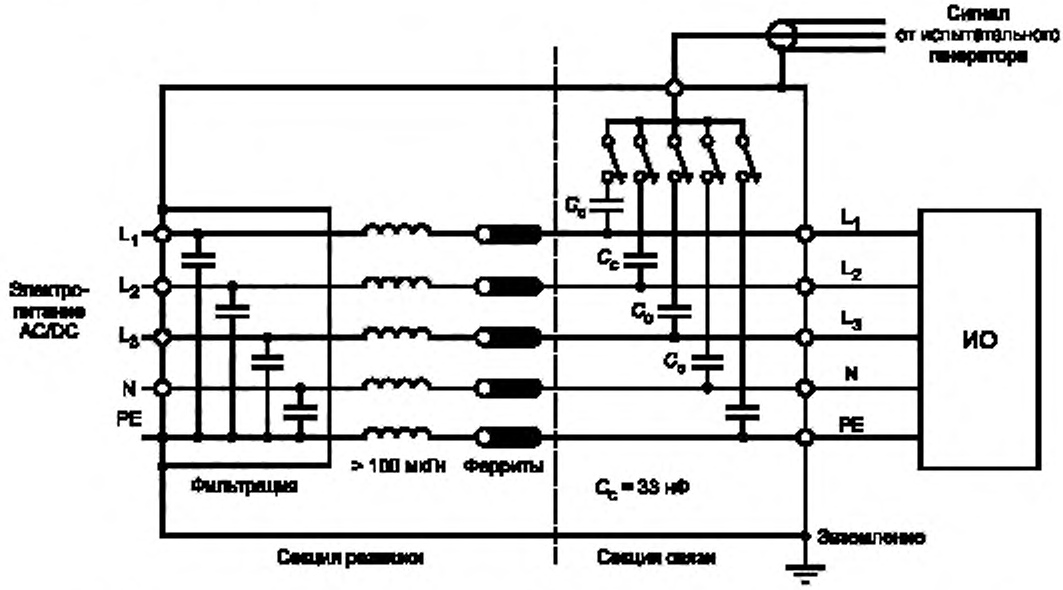
6.3.1 Характеристики устройства связи/развязки

Устройство связи/развязки используется для испытаний портов электропитания переменного/постоянного тока.

Схема устройства (на примере трехфазной сети электропитания переменного тока) приведена на рисунке 4.

Типичные характеристики устройства схемы связи/развязки следующие:

- индуктивность развязки с ферритом >100 мкГн;
- конденсаторы связи 33 нФ.



L_1, L_2, L_3 — фазные провода; N — нейтральный провод, PE — защитное заземление; C_c — конденсаторы связи

Рисунок 4 — Устройство связи/развязки для портов/терминалов сетевого электропитания переменного/постоянного тока

6.3.2 Калибровка устройства связи/развязки

Для калибровки характеристик устройства связи/развязки должно быть использовано измерительное оборудование, определенное как пригодное для выполнения калибровки по 6.2.3.

Калибровка устройства связи/развязки должна быть проведена с использованием генератора, соответствие которого требованиям 6.2.3 должно быть подтверждено.

Калибровка формы сигнала должна быть проведена в общем несимметричном режиме связи, т. е. при подаче импульсных помех одновременно на все линии. При этом форма сигнала должна быть откалибрована индивидуально для каждого пути связи на каждом выходном терминале (L_1, L_2, L_3, N и

PE) устройства связи/развязки с использованием одиночной 50-омной нагрузки, подключенной к опорному заземлению. На рисунке 5 показано одно из пяти калибровочных измерений — калибровка L1 по отношению к опорному заземлению.

Примечание 1 — Отдельная проверка каждого пути связи обеспечивает правильное функционирование и калибровку каждой линии.

Следует соблюдать осторожность при использовании коаксиальных адаптеров для связи с выходом устройства связи/развязки.

Соединение между выходом устройства связи/развязки и коаксиальным адаптером должно быть как можно короче, но не более 0,1 м.

Калибровку проводят при установке значения выходного напряжения генератора 4 кВ Генератор подключают к входу устройства связи/развязки. Каждый отдельный выход устройства связи/развязки (обычно подключаемый к ИО) последовательно нагружают на сопротивление 50 Ом, в то время как другие выходы оставляют ненагруженными. Пиковое значение напряжения и форму сигнала регистрируют для каждой полярности.

Время нарастания импульсов должно быть (5,5 ± 1,5) нс.

Длительность импульса должна быть (45 ± 15) нс.

Пиковое значение напряжения должно быть (2 ± 0,2) кВ в соответствии с таблицей 2.

Примечание 2 — Значения, приведенные выше, представляют собой результаты применения рассматриваемого метода калибровки устройства связи/развязки.

Остаточное напряжение испытательного импульса на входах питания устройства связи/развязки при отключении сети электропитания не должно превышать 400 В при измерении отдельно на каждом входном терминале (L_1, L_2, L_3, N, PE) с одиночной нагрузкой 50 Ом, при установке генератора на 4 кВ и использовании устройства связи/развязки в общем несимметричном режиме связи, т. е. при подаче переходных процессов одновременно на все линии.

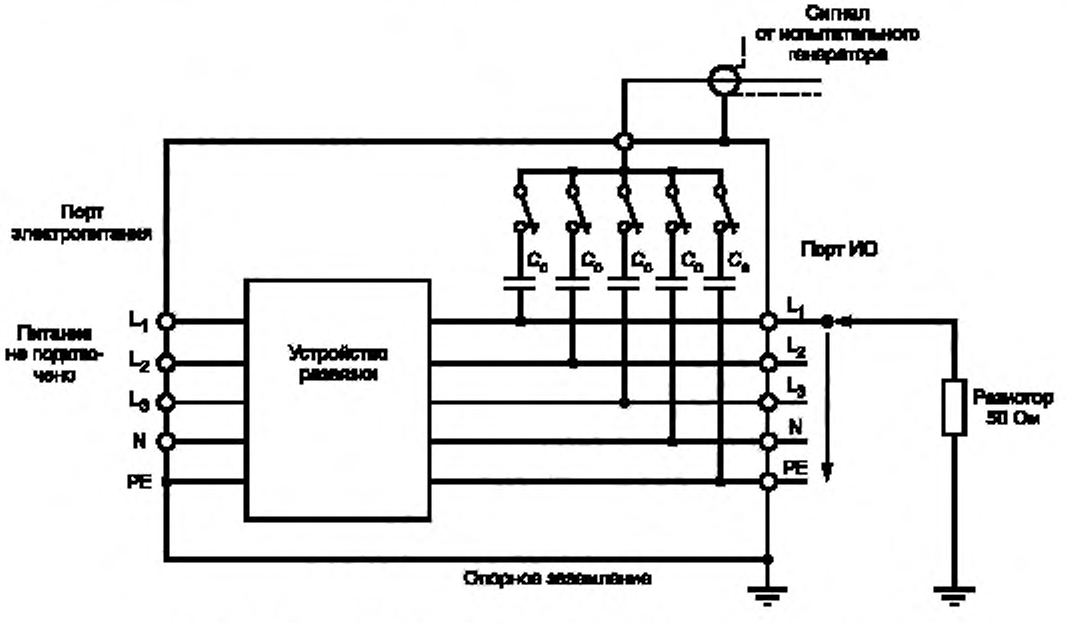


Рисунок 5 — Калибровка формы сигнала на выходе устройства связи/развязки

6.4 Емкостные клещи связи

6.4.1 Общие положения

Емкостные клещи связи обеспечивают возможность подачи электрических быстрых импульсов (пачек) на испытуемые цепи без подключения к клеммам портов ИО, экранам кабелей или каким-либо иным частям ИО.

Емкость связи клещей зависит от диаметра кабеля, его материала и экрана кабеля (при наличии).

Прибор состоит из зажимного элемента (выполненного, например, из оцинкованной стали, латуни, меди или алюминия) для размещения кабелей (плоских или круглых) испытуемой цепи, размещенного на пластине заземления. Пластина заземления должна выступать за границы зажима не менее чем на 0,1 м с каждой стороны.

Емкостные клещи должны иметь на каждом конце высоковольтный коаксиальный разъем для подключения испытательного генератора. Испытательный генератор подключают к тому концу клещей связи, который расположен ближе к ИО.

Если клещи связи имеют только один высоковольтный коаксиальный разъем, то он должен быть расположен так, чтобы высоковольтный коаксиальный разъем был максимально приближен к ИО.

Сами клещи должны быть как можно более плотно закрыты, чтобы обеспечить максимальную емкость связи между кабелем и клещами.

Пример механической конструкции клещей связи приведен на рисунке 6. Клещи связи должны быть следующих размеров:

- высота нижней пластины связи (100 ± 5) мм;
- ширина нижней пластины связи (140 ± 7) мм;
- длина нижней пластины связи (1000 ± 50) мм.

Метод связи с использованием клещей используют для испытаний на линиях, подключаемых к сигнальным портам и портам. Допускается использование клещей связи на портах электропитания, если устройство связи/развязки по 6.3 не может быть применено (см. 7.3.2.1).

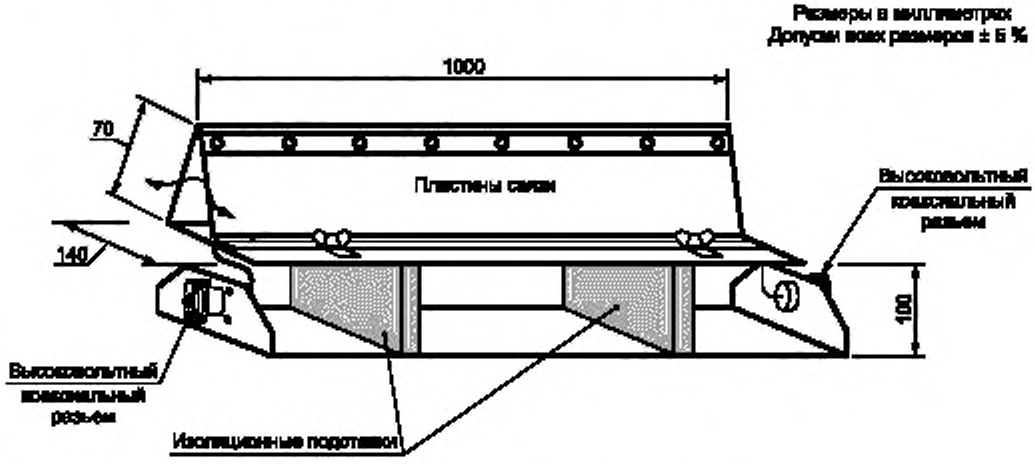


Рисунок 6 — Пример емкостных клещей связи

6.4.2 Калибровки емкостных клещей связи

Для калибровки характеристик емкостных клещей связи должно быть использовано измерительное оборудование, определенное как пригодное для выполнения калибровки по 6.2.3.

Преобразовательная пластина (см. рисунок 7) должна быть вставлена в клещи связи. Для подключения к измерительному нагрузочному аттенюатору должен быть использован соединительный адаптер с низкой индуктивностью связи с заземлением. Схема установки приведена на рисунке 8.

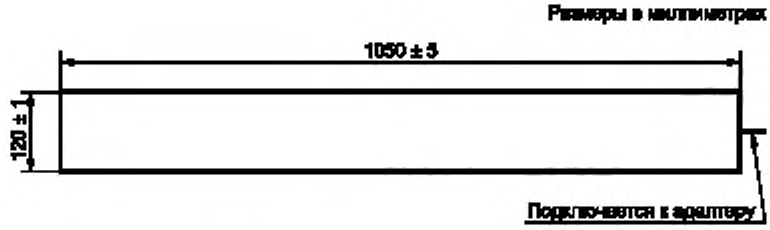


Рисунок 7 — Преобразовательная пластина для калибровки клещей связи

Рисунок 8 — Калибровка емкостных клещей связи с использованием преобразовательной пластины

Преобразовательная пластина состоит из металлического листа размером 120 × 1050 мм, максимальной толщиной 0,5 мм, изолированного сверху и снизу диэлектрическим листом толщиной 0,5 мм. Для того чтобы избежать контакта клещей с преобразовательной пластиной, должна быть обеспечена ее изоляция со всех сторон, выдерживающая напряжение не менее 2,5 кВ. На одном конце преобразовательную пластину подключают к соединительному адаптеру, используя соединение с малым полным сопротивлением длиной не более 30 мм. Преобразовательная пластина должна быть размещена в емкостных клещах связи так, чтобы конец с соединением был совмещен с концом нижней пластины связи. Соединительный адаптер должен устанавливать соединение с низким полным сопротивлением с пластиной заземления, чтобы обеспечить заземление коаксиального измерительного нагрузочного аттенюатора 50 Ом. Расстояние между преобразовательной пластинкой и измерительным нагрузочным аттенюатором 50 Ом не должно превышать 0,1 м.

Примечание — Зазор между верхней пластиной связи и преобразовательной пластиной не имеет существенного значения.

Форма сигнала должна быть откалибрована с одним резистором 50 Ом.

Калибровка клещей должна быть проведена с использованием генератора, соответствие которого требованиям 6.2.2 и 6.2.3 должно быть подтверждено.

Калибровку проводят при установке значения выходного напряжения генератора 2 кВ.

Генератор подключают к выходу клещей связи.

Пиковое значение напряжения и параметры формы сигнала регистрируют на выходе преобразовательной пластины, расположенном на противоположном конце клещей.

Характеристики формы сигнала должны соответствовать следующим требованиям:

- время нарастания (5 ± 1,5) нс;
- ширина импульса (50 ± 15) нс;
- пиковое значение напряжения (1000 ± 200) В.

7 Испытательная установка

7.1 Общие положения

В зависимости от места проведения испытаний различают:

- типовые испытания (испытания для подтверждения соответствия), проводимые в испытательных лабораториях;
- испытания на месте эксплуатации, проводимые после окончательной установки оборудования.

Предпочтительным методом испытаний являются типовые испытания, проводимые в испытательных лабораториях.

ИО при испытаниях должно быть размещено в соответствии с инструкциями изготовителя по установке (при наличии).

7.2 Испытательное оборудование

7.2.1 Общие положения

Испытательная установка включает в себя следующее оборудование (см. рисунок 9):

- опорную пластину заземления;
- устройство связи (устройство связи/развязки или емкостные клещи связи);
- устройство развязки (если применимо);
- испытательный генератор.

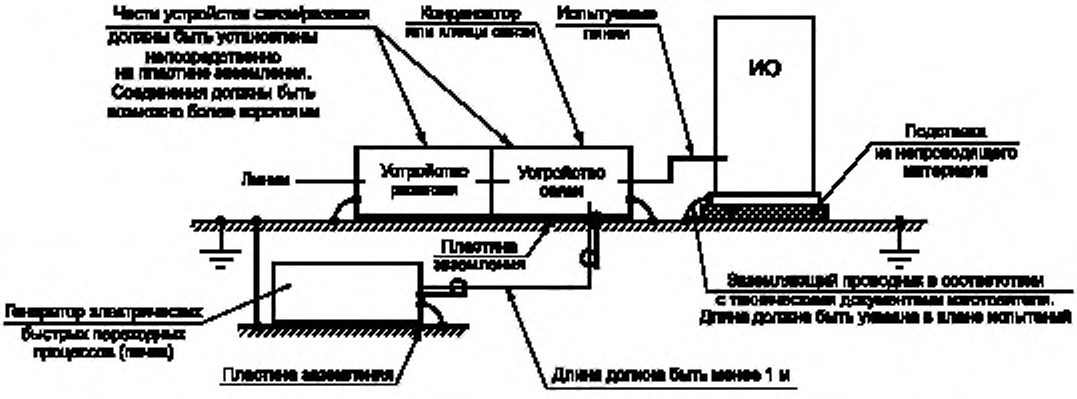


Рисунок 9 — Блок-схема испытаний на устойчивость к электрическим быстрым импульсам (пачкам)

7.2.2 Проверка испытательной аппаратуры

Цель проверки — убедиться в том, что испытательная установка с применением электрических быстрых переходных процессов (пачек) функционирует правильно между калибровками. Испытательная установка с применением электрических быстрых переходных процессов (пачек) включает в себя:

- генератор электрических быстрых переходных процессов (пачек);
- устройство связи/развязки;
- емкостные клещи связи;
- соединительные кабели.

Чтобы проверить правильность функционирования системы, должны быть проверены следующие сигналы:

- сигнал электрических быстрых переходных процессов (пачек) на выходном зажиме устройства связи/развязки;
- сигнал электрических быстрых переходных процессов (пачек) на емкостных клещах связи.

Достаточно проверить с использованием соответствующего измерительного оборудования (например, осциллографа), что быстрые переходные процессы (см. рисунок 2) присутствуют на любом уровне при условии, что ИО не подключено к системе.

Испытательные лаборатории могут самостоятельно установить контрольные опорные значения, отнесенные к этой процедуре проверки.

Пример процедуры проверки емкостных клещей связи приведен на рисунке 10.

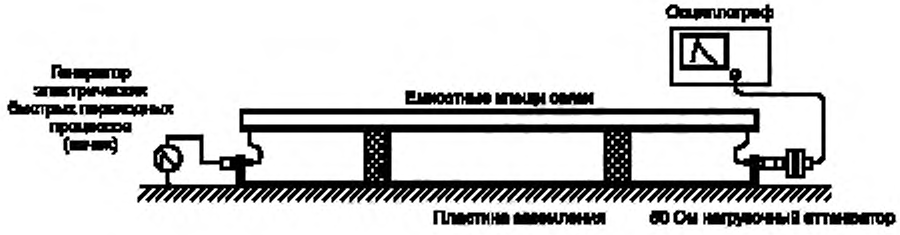


Рисунок 10 — Пример проверки емкостных клещей связи

7.3 Испытательная установка для типовых испытаний, проводимых в лабораториях

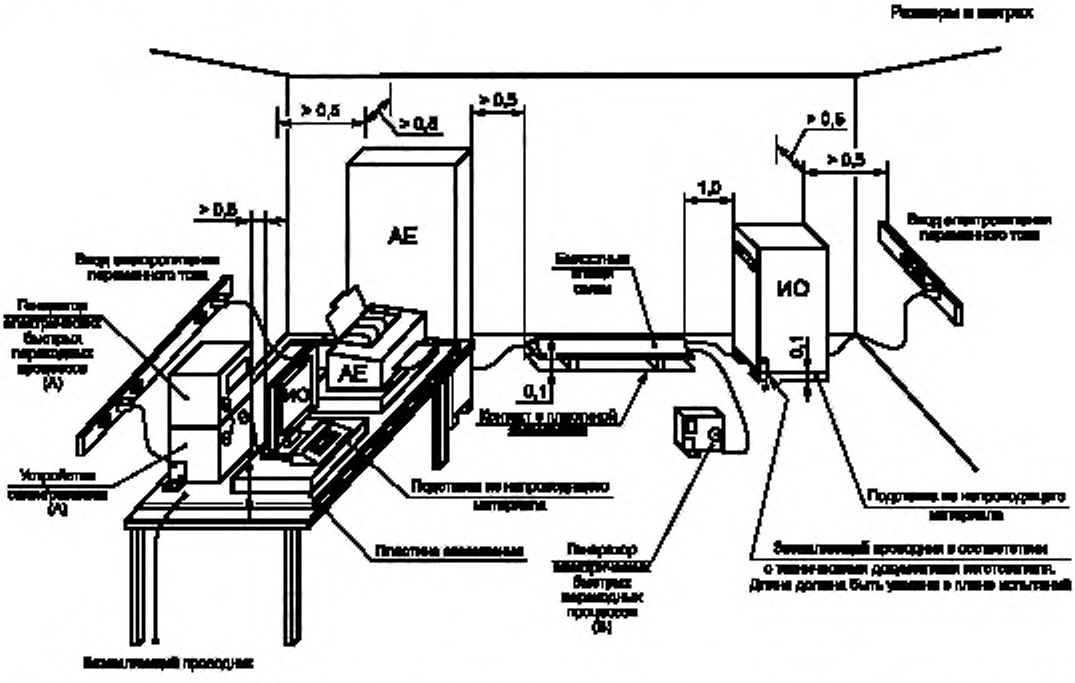
7.3.1 Условия испытаний

К испытаниям, проводимым в лабораториях, в которых выполнены лабораторные опорные условия по 8.1, применяют следующие требования.

Напольные ИО и оборудование, предназначенное для монтажа в других конфигурациях, если не указано иное, должны быть размещены на опорной пластине заземления и изолированы от нее подставкой из непроводящего материала толщиной (0,1 ± 0,05) м (см. рисунок 11). Допускается применение непроводящих валиков/роликов.

Настольное оборудование и оборудование, обычно установленное на потолках или стенах, а также встраиваемое оборудование должны быть испытаны при размещении ИО на (0,1 ± 0,01) м выше пластины заземления.

Испытание настольного оборудования значительных размеров или нескольких систем может быть проведено на полу при сохранении тех же самых расстояний, которые имели место в испытательной конфигурации настольного оборудования.



(A) – размещение для связи с линией электропитания; (B) — размещение для связи с линиями сигналов

Рисунок 11 — Пример испытательной установки для лабораторных типовых испытаний

Испытательный генератор и устройство связи/развязки должны быть соединены с опорной пластиной заземления.

Пластина заземления должна представлять собой металлический лист (медный или алюминиевый) толщиной не менее 0,25 мм; могут быть использованы другие металлические материалы, но толщиной не менее 0,65 мм.

Минимальные размеры пластины заземления должны быть 0,8 × 1 м. Фактические размеры зависят от размеров ИО.

Пластина заземления должна выступать за границы ИО не менее чем на 0,1 м с каждой стороны.

Для обеспечения безопасности пластина заземления должна быть соединена с защитным заземлением (PE).

ИО должно быть расположено и подключено для обеспечения функционирования по назначению и в соответствии с техническими требованиями к установке оборудования.

Минимальное расстояние между ИО и любыми другими проводящими структурами (включая генератор, вспомогательное оборудование и стены экранированной комнаты), за исключением пластины заземления, должно быть более 0,5 м.

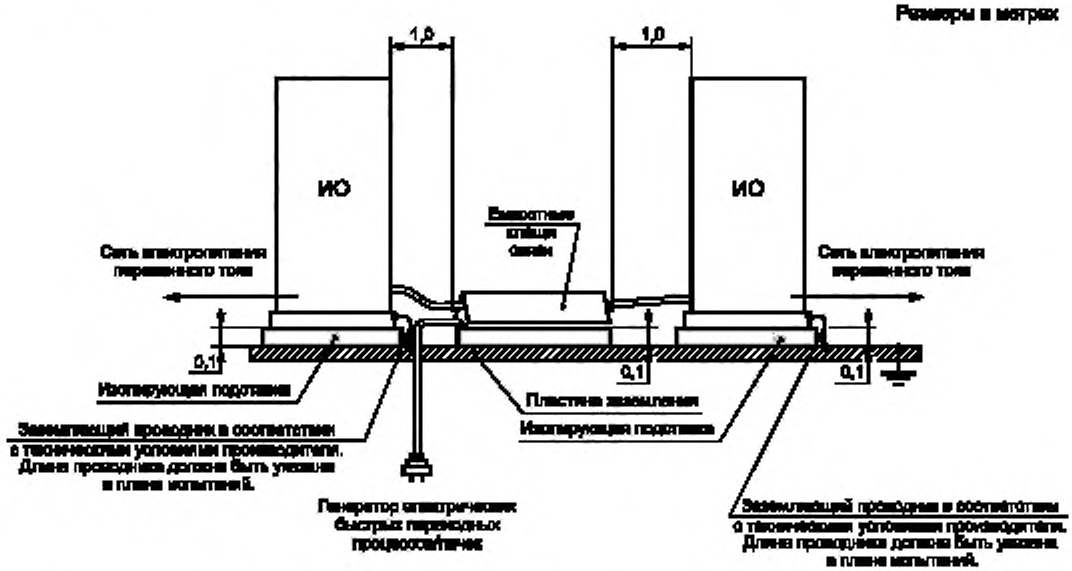
Все кабели для ИО должны быть размещены на изолирующей подставке на высоте 0,1 м над пластиной заземления. Кабели, не подвергаемые воздействию электрических быстрых переходных процессов (пачек), должны проходить как можно дальше от испытуемого кабеля с тем, чтобы минимизировать связь между кабелями.

ИО должно быть присоединено к системе заземления в соответствии с требованиями изготовителя к установке; использование дополнительных заземляющих проводников не допускается.

Полное сопротивление соединений заземляющих кабелей устройства связи/развязки с опорной пластиной заземления и всех электрических соединений должно быть низкоиндуктивным.

Для подачи испытательных напряжений должны использоваться либо устройство непосредственной связи, либо емкостные клещи.

Испытательные напряжения должны быть поданы поочередно на все порты ИО, включая порты для подключения кабелей, соединяющих отдельные образцы оборудования, подвергаемые испытаниям, исключая случай, когда длина соединительного кабеля не позволяет провести испытание (см. рисунок 12).



Примечание — Длина кабеля, который должен быть испытан, обычно устанавливается техническими комитетами, разрабатывающими стандарты на продукцию.

Рисунок 12 — Пример испытательной установки, включающей в себя систему из двух напольных ИО

Оборудование, поставляемое без кабелей, должно быть испытано в соответствии с инструкцией по работе/установке или по сценарию наихудшего случая.

Оборудование с высокими кабельными вводами должно быть установлено, как показано на рисунке 13.

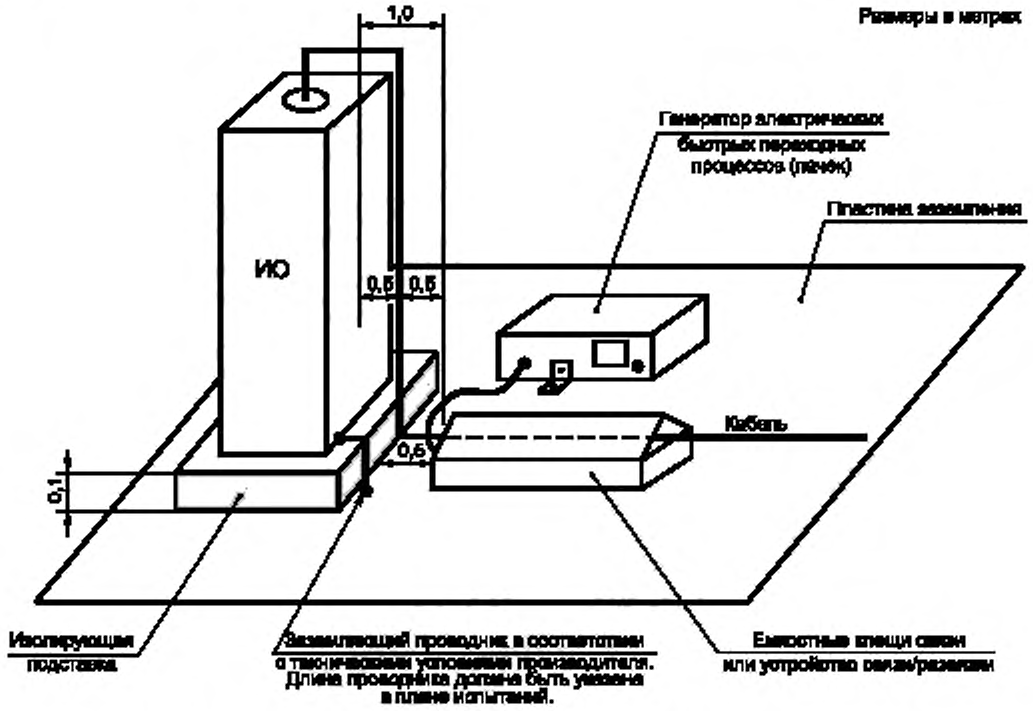


Рисунок 13 — Пример испытательной установки для оборудования высокими кабельными вводами

Для защиты вспомогательного оборудования (АЕ) и общественных распределительных сетей должны быть использованы устройства развязки или поглощающие устройства общего несимметричного режима.

При использовании емкостных клещей связи минимальное расстояние между пластинами связи клещей и любыми другими проводящими поверхностями (включая генератор), за исключением пластины заземления под клещами связи и под ИО, должно быть не менее 0,5 м.

Расстояние между любыми устройствами связи и ИО должно быть 0,5—0,6 м для настольного испытательного оборудования и (1,0 ± 0,1) м для напольного оборудования, если иное не указано в стандартах, распространяющихся на продукцию. Если физически невозможно применить указанные выше расстояния, то допускается применить другие расстояния с записью в плане испытаний.

Если кабель между ИО и устройством связи съемный, то он должен быть коротким, насколько это возможно, чтобы соответствовать требованиям настоящего подраздела. Если изготовитель предоставляет кабель, превышающий расстояние между устройством связи и местом ввода в ИО, то излишек длины этого кабеля должен быть свернут в жгут и находиться на высоте 0,1 м над пластиной заземления. Если в качестве устройства связи применяются емкостные клещи связи, то излишек кабеля должен быть свернут в жгут на стороне АЕ.

Части ИО с соединительными кабелями длиной менее 3 м, которые не испытываются, должны быть размещены на изолирующей подставке. Расстояние между частями ИО должно быть 0,5 м. Излишек длины кабеля должен быть свернут в жгут.

Примеры испытательных установок для испытаний в лаборатории приведены на рисунках 11—14.

7.3.2 Методы подачи испытательного напряжения на ИО

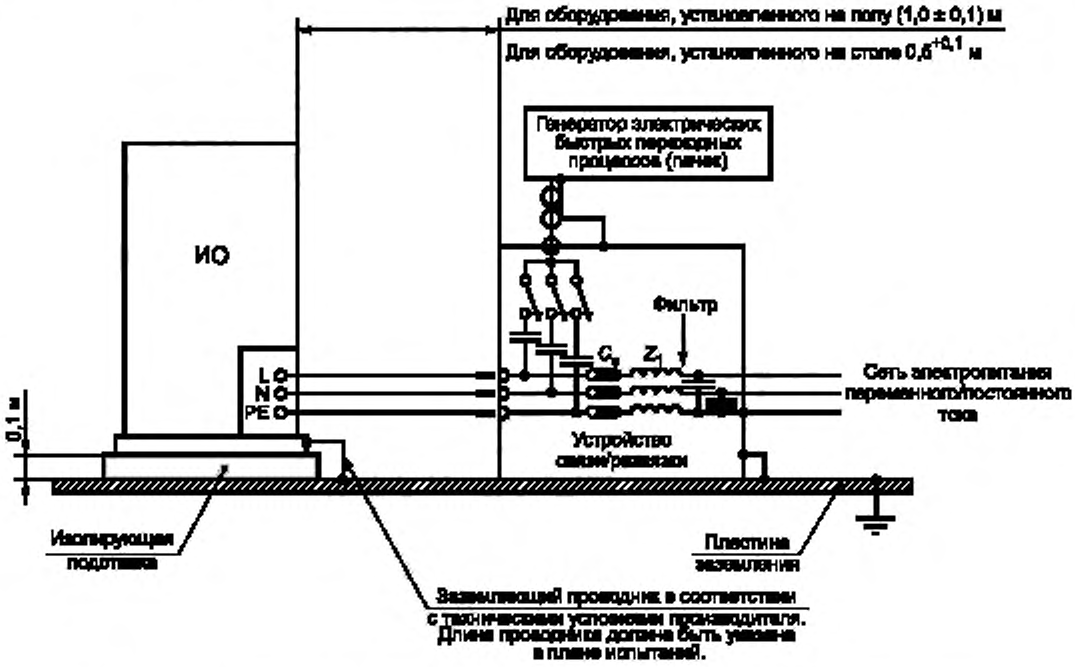
7.3.2.1 Общие положения

Метод подачи испытательного напряжения на ИО зависит от типа порта ИО, как указано ниже.

7.3.2.2 Порты электропитания

Пример испытательной установки для прямой подачи напряжения электрических быстрых переходных процессов (пачек) помех через устройство связи/развязки приведен на рисунке 14. Рисунок 14 иллюстрирует предпочтительный метод связи с портом питания.

Для оборудования, имеющего порт питания без клеммы заземления, испытательное напряжение подается только на линии L и N.



PE — защитное заземление; N — нейтраль; L — фаза; Z_1 — индуктивная развязка; C_c — конденсатор связи

Рисунок 14 — Пример испытательной установки для прямой связи испытательного напряжения с портами питания переменного/постоянного тока для типовых испытаний в лаборатории

Если пригодное устройство связи/развязки отсутствует, например при потребляемом переменном токе более 100 А, допускается применение следующих альтернативных методов:

- в случае общего несимметричного и несимметричного режимов связи предпочтительным является прямой ввод с использованием конденсатора емкостью (33 ± 6,6) нФ;
- если прямой ввод непрактичен, используют емкостные клещи связи.

7.3.2.3 Сигнальные порты и порты управления

На рисунке 11 и рисунке 12 показаны примеры использования емкостных клещей связи для подачи испытательного напряжения помехи на сигнальные порты и порты управления. Кабель должен быть размещен в центре клещей связи. Неиспытываемое или вспомогательное подключенное оборудование следует обеспечить соответствующими развязками.

7.3.2.4 Клеммы заземления

Испытательной точкой на металлическом корпусе оборудования, имеющего разъем питания с выводом для заземления, должна быть клемма защитного заземления.

Если устройство связи/развязки неприменимо, испытательное напряжение должно быть подано на соединение защитного заземления (PE) через конденсатор связи емкостью (33 ± 6,6) нФ.

7.4 Испытательная установка для испытаний, проводимых на месте установки

7.4.1 Обзор

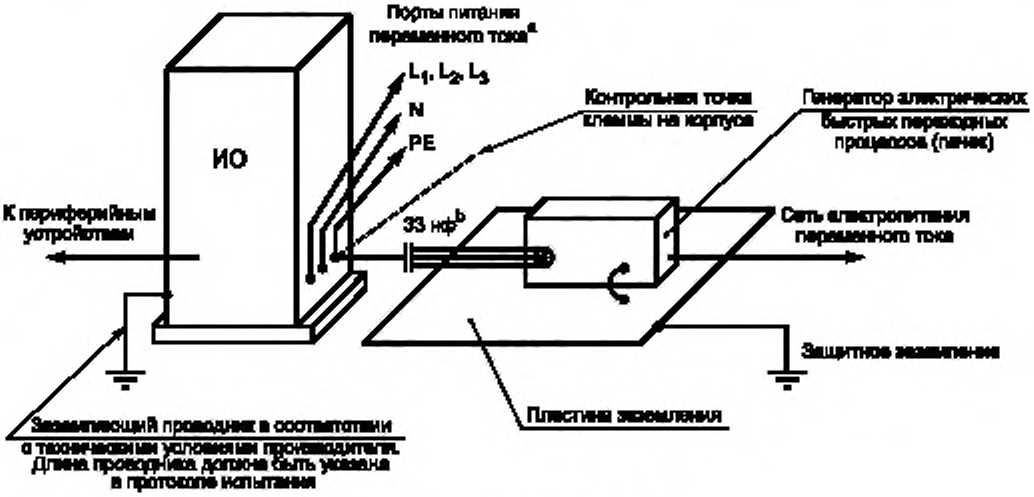
Испытания на месте установки проводят только по соглашению между изготовителем и заказчиком. Следует учитывать, что само испытание может быть разрушительным для ИО, а другое совмещенное с ним оборудование может быть повреждено или ему может быть нанесен иной ущерб.

Оборудование или система должны быть испытаны после окончания монтажных работ. Испытания на месте установки проводят без применения устройств связи/развязки для того, чтобы имитировать, насколько это возможно, реальную электромагнитную обстановку.

Если оборудование или система, не относящиеся к ИО, подвергаются неблагоприятному воздействию во время испытаний, то должны, по соглашению между изготовителем и пользователем, применяться устройства связи/развязки.

7.4.2 Испытания на портах электропитания и заземления

Испытательное напряжение должно быть подано одновременно между опорной пластиной заземления и клеммами электропитания переменного или постоянного тока, а также клеммой защитного или функционального заземления на корпусе ИО (см. рисунок 15).



[a] Клеммы постоянного тока должны рассматриваться аналогичным образом.
[b] Конденсатор(ы) связи.

PE — защитное заземление; N — нейтраль; L_1, L_2, L_3 — фазные провода электропитания переменного тока

Рисунок 15 — Пример испытаний на месте установки на портах электропитания переменного/постоянного тока и клеммах защитного заземления стационарного напольного ИО

Опорная пластина заземления, как указано в 7.3.1, должна быть установлена рядом с ИО и присоединена к защитному заземлению в сети электропитания.

Генератор электрических быстрых переходных процессов (пачек) должен быть расположен на пластине заземления и соединен с конденсатором(ами) связи коаксиальным кабелем. Экран коаксиального кабеля на его конце, подключенном к конденсатору, не должен быть присоединен в защитному заземлению. Длина соединения от конденсатора связи к портам на ИО должна быть как можно более короткой. Это соединение должно быть неэкранированным, но хорошо изолированным. Емкость конденсаторов связи должна быть (33 ± 6,6) нФ. Остальные соединения ИО должны быть проложены в соответствии с функциональными требованиями.

7.4.3 Испытание на сигнальных портах и портах управления

Предпочтительным методом подачи испытательного напряжение на сигнальные порты и порты управления является использование емкостных клещей связи. Кабель должен быть размещен в центре клещей связи. Если клещи не могут быть использованы из-за механических причин (например, размера

кабеля или условий его прокладки), они должны быть заменены токопроводящей лентой или металлической фольгой, обертывающими линии в процессе испытания.

Альтернативным способом является подключение генератора электрических быстрых переходных процессов (пачек) к клеммам линии через отдельные конденсаторы емкостью (100 ± 20) пФ, заменяющие распределенную емкость клещей связи или устройства с фольгой или лентой.

Коаксиальный кабель, отходящий от испытательного генератора, должен быть заземлен в непосредственной близости от точки соединения. Не допускается подача испытательного напряжения на разъемы (проводники под напряжением) коаксиальных или экранированных кабелей.

Испытательное напряжение должно прикладываться таким образом, чтобы защищенность оборудования, обусловленная его экранированием, не уменьшалась (см. рисунок 16 для испытательной конфигурации).

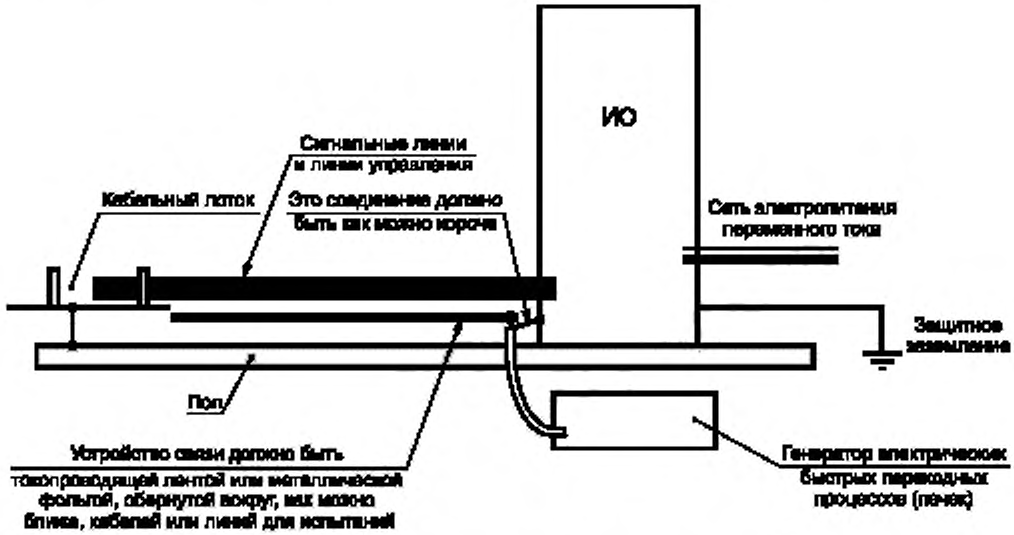


Рисунок 16 — Пример испытаний на месте установки на сигнальных портах и портах управления без емкостных клещей связи

Результаты испытаний, полученные при использовании отдельного конденсатора связи, могут отличаться от результатов, полученных при использовании емкостных клещей связи или фольги. Поэтому испытательные уровни, установленные в разделе 5, могут быть изменены техническим комитетом, разрабатывающим стандарты на продукцию, для того чтобы принять во внимание существенные характеристики установки.

По согласованию между изготовителем и потребителем при испытаниях на месте установки внешние кабели могут быть проверены при одновременной укладке всех кабелей одновременно в клещи связи.

8 Процедура испытаний

8.1 Общие положения

Процедура испытаний включает в себя:
- проверку испытательного оборудования в соответствии с 7.2.2;
- проверку лабораторных опорных условий;
- проверку правильности функционирования ИО;
- проведение испытаний;
- оценку результатов испытаний.

8.2 Лабораторные опорные условия

8.2.1 Климатические условия

Если иное не установлено техническими комитетами, ответственными за разработку общих стандартов и стандартов на продукцию, климатические условия в лаборатории должны отвечать всем предельным значениям, установленным соответствующими изготовителями для функционирования ИО и испытательного оборудования.

Испытания не проводят, если на поверхности ИО или испытательного генератора из-за повышенной влажности возникает конденсация влаги.

8.2.2 Электромагнитные условия

Электромагнитные условия в лаборатории должна быть такими, чтобы гарантировать правильное функционирование ИО и отсутствие влияния на результаты испытаний.

8.3 Проведение испытаний

Испытания должны быть проведены на основе плана испытаний, предусматривающего проверку качества функционирования ИО в соответствии с технической документацией.

ИО испытывают в нормальных рабочих условиях.

План испытаний должен устанавливать:

- тип проводимых испытаний (в лаборатории или на месте эксплуатации);
- испытательный уровень;
- режим связи (общий несимметричный режим и несимметричный режим в случае испытаний на месте эксплуатации или когда отсутствует применимое устройство связи/развязки);
- полярность испытательного напряжения (обе полярности являются обязательными);
- продолжительность испытания каждого порта (не должна быть меньше, чем время, необходимое для воздействия на ИО и ожидания его отклика, но ни в коем случае не может быть меньше 1 мин. Технические комитеты, ответственные за разработку стандартов на продукцию, могут выбирать другую длительность испытаний);
- частоту повторения;
- порты ИО, которые должны быть испытаны;
- представительные условия эксплуатации ИО;
- последовательность подачи испытательного напряжения на порты ИО;
- вспомогательное оборудование (ВО).

9 Оценка результатов испытаний

Результаты испытаний должны быть классифицированы с точки зрения прекращения выполнения функции или ухудшения качества функционирования ИО в сравнении с уровнем качества функционирования, определенным его изготовителем, заказчиком испытания или соглашением между изготовителем и покупателем продукции.

Рекомендуется следующая классификация:

A — нормальное качество функционирования в пределах, установленных изготовителем, заказчиком испытания или покупателем;

B — временное прекращение выполнения функции или ухудшение качества функционирования, которые исчезают после прекращения воздействия помех, с восстановлением нормального функционирования ИО без вмешательства оператора;

C — временное прекращение выполнения функции или ухудшение качества функционирования, коррекция которых требует вмешательства оператора или перезапуска системы;

D — прекращение выполнения функции или ухудшение качества функционирования, которые не являются восстанавливаемыми из-за повреждения оборудования (компонентов), нарушения программного обеспечения или потери данных.

В технической документации изготовителя могут быть установлены воздействия на ИО, которые могут рассматриваться как незначительные и, следовательно, допустимые.

Данная классификация может быть использована в качестве руководства при определении критериев качества функционирования техническими комитетами, ответственными за разработку общих стандартов и стандартов на продукцию и группы однородной продукции, или в качестве основы для соглашения о критериях качества функционирования между изготовителем и покупателем, если, напри-

мер, не существует применимого общего стандарта, стандарта на продукцию или стандарта на группу однородной продукции;

10 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать все сведения, необходимые для воспроизводимости испытания. В частности, должно быть отражено следующее:

- пункты, установленные в плане испытаний, как указано в разделе 8 настоящего стандарта;
- идентификация ИО и любого связанного с ним оборудования, например фабричная марка, тип продукции, серийный номер;
- идентификация испытательного оборудования, например фабричная марка, тип продукции, серийный номер;
- любые особые условия обстановки, в которой было проведено испытание, например экранированное помещение;
- любые особые условия, сделавшие возможным проведение испытания;
- уровень качества функционирования, установленный изготовителем, заказчиком испытания или покупателем;
- уровень качества функционирования, установленный в общем стандарте, стандарте на продукцию или в стандарте на группу однородной продукции;
- любые воздействия на ИО при испытании, наблюдаемые в течение и после прекращения воздействия помехи, и длительность наблюдения;
- заключение о соответствии или несоответствии ИО требованиям помехоустойчивости (основанное на критерии качества функционирования, установленном в общем стандарте, стандарте на продукцию, или стандарте на группу однородной продукции, или в соглашении между изготовителем и покупателем);
- любые особые условия использования, например длина или тип кабеля, экранирование или заземление, рабочие условия, которые необходимы для достижения соответствия.

Приложение А
(справочное)

Информация об электрических быстрых переходных процессах

А.1 Введение

Электрические быстрые переходные процессы (пачки) возникают при коммутации индуктивных нагрузок. Такие переходные процессы, обычно относящиеся к быстрым, могут характеризоваться следующими параметрами:

длительностью пачки импульсов, которая определяется прежде всего энергией, накопленной в индуктивности до начала коммутации;

частотой повторения отдельных переходных процессов;

изменяющейся амплитудой переходных процессов, составляющих пачку импульсов, которая определяется механическими и электрическими характеристиками переключающего устройства (скоростью операции разрывания цепи, способностью контакта в открытом состоянии выдерживать напряжение).

Обычно параметры электрических быстрых переходных процессов (пачек) не определяются единственным образом характеристиками коммутирующего контакта или коммутируемой нагрузки.

А.2 Амплитуда импульсов

Напряжение импульсов, измеряемое на проводниках линии, может иметь то же значение, как в точке гальванического соединения этой линии с переключающим контактом. Для линий электропитания и некоторых управляющих цепей это может иметь место вблизи переключающего контакта (на расстоянии около 1 м).

При передаче помехи посредством индукции (например, через емкостную связь) амплитуда помехи будет представлять собой часть напряжения помехи, измеренного на контактах.

А.3 Время нарастания

Необходимо отметить, что с увеличением расстояния от источника форма импульса меняется из-за потерь при распространении, дисперсии и отражений из-за искажений, вызванных подключенными нагрузками. Время нарастания 5 нс, установленное для испытательного генератора, является компромиссным, учитывая эффект ослабления высокочастотных составляющих при распространении импульса.

Более короткое время нарастания, например 1 нс, даст результаты испытаний с большей жесткостью, и целесообразность его применения в основном относится к оборудованию с короткими соединениями, применяемому поблизости от источника электрических быстрых переходных процессов (пачек).

Примечание — Реальное время нарастания в источнике электрических быстрых переходных процессов (пачек) для напряжений от 500 В до 4 кВ и более очень близко ко времени нарастания тока электростатического разряда (воздушного), так как механизм разряда является одинаковым.

А.4 Длительность импульса

Реальная длительность существенно отличается от того, что указано во всех редакциях настоящего стандарта. Длительность, указанная в настоящем стандарте, соответствует измеренной длительности импульсов, наведенных в испытуемой цепи с учетом меньшего значения низкочастотной компоненты импульсов.

А.5 Частота повторения импульсов

Частота повторения импульсов зависит от многих параметров, например:

- постоянной времени цепи заряда (сопротивления, индуктивности и распределенной емкости коммутируемой индуктивной нагрузки);
- постоянной времени коммутирующей цепи, включая полное сопротивление линии, соединяющей нагрузку с переключающим устройством;
- скорости движения контакта при разрыве цепи;
- напряжения, выдерживаемого контактом переключающего устройства.

Отсюда следует, что частота повторения импульсов является переменной величиной, причем обычными являются ее изменения в пределах десяти раз или более.

Примечание — На практике значения частоты повторения импульсов 5 кГц и 100 кГц, выбранные для испытания, могут рассматриваться как компромиссное решение, обеспечивающее проведение испытаний с учетом наиболее важных параметров электрических быстрых переходных процессов (пачек).

А.6 Число импульсов в пачке и длительность пачки

Этот (эти) параметр (параметры) зависит(ят) от энергии, накопленной коммутируемой индуктивной нагрузкой, а также от напряжения, выдерживаемого коммутирующим устройством.

Число импульсов в пачке непосредственно зависит от частоты повторения импульсов и длительности пачек. Длительность пачки по результатам измерений близка к 2 мс, за исключением применения герметизированного ртутного контакта, который используется не так часто, как другие типы контактов.

Примечание — Для испытаний при частоте повторения импульсов 100 кГц выбрана длительность пачки 0,75 мс. Соответственно 75 — число импульсов в пачке. При испытании с частотой 5 кГц длительность импульса составляет 15 мс.

Приложение В
(справочное)

Выбор испытательных уровней

Испытательные уровни должны быть выбраны в соответствии с наиболее реальными условиями установки и окружающей электромагнитной среды. Эти уровни указаны в разделе 5.

Испытания на помехоустойчивость проводят при выбранных испытательных уровнях для того, чтобы обеспечить уровень качества функционирования оборудования, соответствующий электромагнитной обстановке, в которой оборудования, как ожидается, будет функционировать.

Для испытаний сигнальных портов и портов управления значения испытательного напряжения составляют половину амплитуды напряжений, подаваемых на порты электропитания.

На основании общей практики установки рекомендуемый выбор испытательных уровней при испытаниях на устойчивость к электрическим быстрым переходным процессам (пачкам) в соответствии с требованиями электромагнитной обстановки заключается в следующем:

a) Испытательный уровень 1. Хорошо защищенная электромагнитная обстановка

Установка характеризуется следующими признаками:

- подавлением электрических быстрых переходных процессов (пачек) в коммутируемых цепях электропитания и управления;
- разделением между линиями силового электропитания (переменного и постоянного тока) и управляющими и измерительными цепями, подходящими от других сред, принадлежащих к более высоким уровням жесткости;
- применением экранированных кабелей электропитания с экранами, заземленными с обоих концов, и фильтрацией подаваемого электропитания.

Представителем данной электромагнитной обстановки может быть компьютерный зал.

Применимость этого уровня для испытания оборудования ограничена цепями питания для типовых испытаний, и особенно линиями заземления цепей и шкафов оборудования при испытаниях на месте установки.

b) Испытательный уровень 2. Защищенная электромагнитная обстановка

Установка характеризуется следующими признаками:

- частичным подавлением электрических быстрых переходных процессов (пачек) в цепях силового электропитания и управления, которые переключаются только с помощью реле (не контакторами);
- плохое разделение промышленных цепей, принадлежащих к промышленной среде, от других цепей, связанных со средами более высокого уровня жесткости;
- физическим разделением неэкранированных кабелей силового электропитания и управления от сигнальных кабелей и кабелей связи.

Представителем данной электромагнитной обстановки может быть комната управления или терминал промышленного и электротехнического оборудования.

c) Испытательный уровень 3. Типовая промышленная электромагнитная обстановка

Установка характеризуется следующими признаками:

- отсутствием подавления электрических быстрых переходных процессов (пачек) в цепях силового электропитания и управления, которые переключаются только с помощью реле (не контакторами);
- плохим разделением промышленных цепей от других цепей, связанных со средами более высокого уровня жесткости;
- применением специальных кабелей для питания, управления, сигнализации и линий связи;
- плохим разделением между кабелями силового электропитания, управления, сигнализации и связи;
- наличием системы заземления, использующей проводящие каналы, проводники заземления в кабельных лотках (соединенных с системой защитного заземления), и контура заземления.

Представителем данной электромагнитной обстановки может быть область промышленного технологического оборудования.

d) Испытательный уровень 4. Тяжелая промышленная электромагнитная обстановка

Установка характеризуется следующими признаками:

- отсутствием подавления электрических быстрых переходных процессов (пачек) в цепях силового электропитания, управляющих и питающих цепях, которые переключаются с помощью как реле, так и контакторов;
- отсутствием разделения промышленных цепей, принадлежащих к жесткой электромагнитной обстановке, от других цепей, связанных со средами более высокого уровня жесткости;
- отсутствием разделения между кабелями силового электропитания, управления, сигнализации и связи;
- использованием многожильных кабелей совместно для цепей управления и сигнализации.

Представителями данной электромагнитной обстановки могут быть открытые зоны размещения промышленного технологического оборудования, в котором не приняты меры снижения помех, электростанции и релейные

помещения на подстанциях воздушных линий высокого напряжения, газовые силовые подстанции с рабочим напряжением до 500 кВ (с типичной практикой установки).

е) Испытательный уровень *X*. Специальные условия эксплуатации

Условия малого или значительного электромагнитного разделения источников помех с цепями, кабелями, линиями оборудования и т. д. и различное качество монтажных работ могут потребовать использования испытательных уровней более высоких или более низких, чем указано выше. Следует отметить, что линии от оборудования, применяемого в жесткой электромагнитной обстановке, могут проникать в зоны с менее жесткой электромагнитной обстановкой.

Приложение С
(справочное)

Рассмотрения неопределенности измерений

С.1 Общие положения

Повторяемость результатов испытаний ЭМС зависит от многих факторов или воздействий, которые влияют на результаты испытаний. Эти факторы могут быть квалифицированы как случайные или систематические эффекты. Соответствие созданной с применением испытательного оборудования физической величины, применяемой при испытаниях в области электромагнитной совместимости, количественным параметрам данной величины, установленным в настоящем стандарте, подтверждают проведением ряда измерений (например, измерением времени нарастания импульса осциллографом с аттенюаторами). Результат каждого измерения включает в себя неопределенность измерений (MU) из-за несовершенства измерительных приборов, а также отсутствия повторяемости самой измеряемой величины.

Для того, чтобы оценить MU, необходимо:

a) идентифицировать источники неопределенности, связанные как с измерительным оборудованием, так и с измеряемой величиной,

b) определить функциональную зависимость (модель измерений) между влияющими (входными) величинами и измеренной (выходной) величиной,

c) получить оценку и стандартные неопределенности входных величин,

d) получить оценку интервала, содержащего, с высоким уровнем достоверности, истинное значение измеряемой величины.

При испытаниях на помехоустойчивость оценки и неопределенности вычисляют по параметрам величины помехи (например, время нарастания, пиковое значение и длительность импульса). Как таковые, они описывают степень согласования величины помехи с соответствующими техническими требованиями настоящего основополагающего стандарта.

Вместе с тем эти оценки и неопределенности, полученные для конкретной величины помехи, не описывают степени согласования между смоделированным электромагнитным явлением, как оно определено в настоящем основополагающем стандарте, и реальными электромагнитными явлениями за пределами лаборатории.

Поскольку влияние параметров величины помехи на ИО априори неизвестно и в большинстве случаев характер отклика ИО на помеху является нелинейным, для величины помехи не могут быть установлены единственные оценка и значение неопределенности. Поэтому каждый из параметров величины помехи должен сопровождаться соответствующей оценкой и неопределенностью. Это приводит более чем к одному бюджету неопределенности.

Данное приложение применяется в отношении неопределенности калибровки для калибровочных лабораторий и тех испытательных лабораторий, которые выполняют свои собственные калибровки.

С.2 Составляющие неопределенности электрических быстрых переходных процессов (пачек)

Неопределенности могут быть определены также для параметров величины помехи. Как таковые, они описывают степень согласования установленного испытательного оборудования с техническими требованиями настоящего основополагающего стандарта.

Ниже приведен список составляющих неопределенности, используемых при оценке влияний измерительных приборов и испытательной установки:

- показание пикового значения;
- показание при 10 %-ном уровне;
- показание при 90 %-ном уровне;
- показание при 50 %-ном уровне;
- коэффициент затухания;
- рассогласование «цепь — осциллограф»;
- составляющая неопределенности цепи «нагрузка — аттенюатор — кабель»;
- составляющая неопределенности при горизонтальном измерении осциллографом;
- составляющая неопределенности при вертикальном измерении осциллографом;
- повторяемость измерений (оценка по типу А);
- отклонения в испытательной установке (оценка по типу А);
- составляющие за счет калибровки осциллографа, аттенюатора.

Следует признать, что вклады, которые применяются при калибровке и при испытании, не могут быть одинаковыми. Это приводит к различным бюджетам неопределенности для каждого процесса.

С.3 Неопределенность калибровки

С.3.1 Общие положения

Необходимо определить независимые бюджеты неопределенности для каждого параметра калибровки, т. е. для значений V_p, t_r, t_w. При испытаниях электрическими быстрыми переходными процессами (пачками) величина помехи — это энергия импульса и спектр генератора электрических быстрых переходных процессов (пачек), которые воздействуют на ИО. Как указано в С.1, независимый бюджет неопределенности должен быть рассчитан для каждого из указанных параметров.

Общий подход к расчету неопределенности измерений импульсов приведен ниже. Примеры рассчитанных бюджетов неопределенности для указанных параметров даны в таблицах С.1—С.3. Таблицы содержат составляющие бюджета неопределенности, которые в рассматриваемых примерах считаются наиболее важными, детальные сведения о составляющих (численные значения, типы распределения и т. д.) и результаты расчетов, требуемых для определения каждого бюджета неопределенности.

С.3.2 Время нарастания напряжения электрических быстрых импульсов (пачек)

Измеряемая величина представляет собой время нарастания напряжения электрических быстрых импульсов (пачек) на нагрузке 50 Ом, рассчитываемое с использованием функциональной зависимости:

$$t_r = \sqrt{(T_{90\,\%} - T_{10\,\%} + \delta R)^2 - T_{MS}^2},$$

где $T_{MS} = \alpha/B$ [α — коэффициент, значение которого принимают равным 360 ± 40 (полосу пропускания B измеряют в мегагерцах, T_{MS} — в наносекундах)];

$T_{10\,\%}$ — время при 10 %-ной максимальной амплитуде;

$T_{90\,\%}$ — время при 90 %-ной максимальной амплитуде;

δR — поправка на повторяемость;

T_{MS} — время нарастания переходной характеристики измерительной системы (от 10 % до 90 %);

B — полоса пропускания измерительной системы на уровне минус 3 дБ.

Таблица С.1 — Пример бюджета неопределенности измерений для времени нарастания напряжения t_r

Обозначение	Оценка	Единица измерения	Граница ошибки	Единица измерения	ФПВ[a]	Делитель	$u(x_i)$	c_i	Единица измерения	$u_i(y)$	Единица измерения
$T_{10\,\%}$	0,85	нс	0,10	нс	Треугольная	2,45	0,041	–1,02	1	0,041	нс
$T_{90\,\%}$	6,1	нс	0,10	нс	Треугольная	2,45	0,041	1,02	1	0,041	нс
δR	0	нс	0,15	нс	Нормальная (k = 1)	1,00	0,150	1,02	1	0,152	нс
A	360	нс · МГц	40	нс · МГц	Прямоугольная	1,73	23,09	$-44 \cdot 10^{-5}$	1/МГц	0,010	нс
B	400	МГц	30	МГц	Прямоугольная	1,73	17,32	$39 \cdot 10^{-5}$	нс/МГц	$6,78 \cdot 10^{-3}$	нс
[a] Функция плотности вероятности.							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,16	нс
							$U(y) = 2u_c(y)$			0,33	нс
							Y			5,33	нс
							Выраженное в процентах от 5,33 нс			6,2	%

$T_{10\,\%}$, $T_{90\,\%}$: показания при 10 % или 90 % пикового значения амплитуды соответственно. Граница ошибки определена в предположении, что частота дискретизации равна 5 ГГц и в осциллографе предусмотрена возможность интерполяции следа (треугольная функция плотности вероятности). Если это не имеет места, следует предположить прямоугольную функцию плотности вероятности. Здесь рассматривается только составляющая неопределенности измерений, связанная с частотой дискретизации; для дополнительных составляющих см. С.3.5. Предполагается, что показание $T_{10\,\%}$ = 0,85 нс, показание $T_{90\,\%}$ = 6,1 нс.

T_{MS}: расчетное время нарастания отклика измерительной системы на скачок напряжения. Коэффициент α зависит от формы импульсного отклика измерительной системы. Диапазон 360 ± 40 является представительным для широкого класса систем, каждая из которых имеет различную форму импульсного отклика (см. С.3.6 и таблицу С.4). Ширина полосы частот B измерительной системы может быть получена экспериментально (прямое измерение ширины полосы) или рассчитана исходя из пропускной способности B_j каждого элемента измерительной системы (по существу, датчика напряжения, кабеля и осциллографа) с помощью следующей формулы:

$$\frac{1}{B} = \sqrt{\left(\frac{1}{B_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_2}\right)^2 + \ldots}$$

Для полосы пропускания B предполагается оценка 400 МГц и границы ошибки 30 МГц с прямоугольной функцией плотности вероятности.

δR: поправка за счет повторяемости времени нарастания от 10 % до 90 %. Эта поправка учитывает недостаточную повторяемость измерений времени между $T_{90\,\%}$ и $T_{10\,\%}$ из-за измерительного оборудования, расположения измерительной установки и непосредственно генератора электрических быстрых переходных процессов (пачек). Данная поправка определяется экспериментально. Это оценка типа А на основе формулы экспериментального стандартного отклонения $s(q_k)$ выборки n повторных измерений q_j:

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j-1}^{n}(q_j - \overline{q})^2},$$

где $\overline{q}$ — среднеарифметическое значение q_j. Граница ошибки $s(q_k)$ = 150 пс (единичное стандартное отклонение при нормальной функции плотности вероятности), предполагаемая оценка 0 нс.

Примечание — Подобным же образом может быть получен бюджет неопределенности при нагрузке 1 кОм. В этом случае учитывается ширина полосы частот измерительной системы с датчиком напряжения 1 кОм вместо ширины полосы частот с датчиком 50 Ом.

С.3.3 Максимальное напряжение электрических быстрых переходных процессов (пачек)

Измеряемая величина представляет собой максимальное значение напряжения электрических быстрых импульсов (пачек) на нагрузке 50 Ом, вычисляемое с использованием функциональной зависимости

$$V_P = \frac{V_{PR}(1 + \delta R + \delta V)}{1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2} A,$$

где V_{PR} — показание пикового значения;

A — ослабление в датчике напряжения при постоянном токе;

δR — поправка на повторяемость (относительная);

δV — вертикальная погрешность осциллографа при постоянном токе (относительная);

B — полоса пропускания измерительной системы на уровне минус 3 дБ;

β — коэффициент, значение которого (7,0 ± 0,8) МГц.

Таблица С.2 — Пример бюджета неопределенности измерений для пикового значения напряжения электрических быстрых переходных процессов (пачек) V_P

Обозначение	Оценка	Единица измерения	Граница ошибки	Единица измерения	ФПВ[a]	Делитель	$u(x_i)$	c_i	Единица измерения	$u_i(y)$	Единица измерения
V_{PR}	3,75	В	0,0073	В	Треугольная	2,45	0,0030	1000	1	2,99	В
A	1000	1	50	1	Треугольная	1,73	28,9	3,75	В	108	В
δR	0	1	0,03	1	Нормальная (k = 1)	1,00	0,030	3,751	В	112,5	В
δV	0	1	0,02	1	Прямоугольная	1,73	0,012	3,751	В	43,3	В
β	7,0	МГц	0,8	МГц	Прямоугольная	1,73	0,462	0,328	В/МГц	0,152	В

Окончание таблицы С.2

Обозначение	Оценка	Единица измерения	Граница ошибки	Единица измерения	ФПВ[a]	Делитель	$u(x_i)$	c_i	Единица измерения	$u_i(y)$	Единица измерения
B	400	МГц	30	МГц	Прямоугольная	1,73	17,32	–0,0058	В/МГц	0,0995	В
[a] Функция плотности вероятности							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,162	кВ
							$U(y) = 2u_c(y)$			0,32	кВ
							Y			3,75	кВ
							Выраженное в процентах от 3,75 кВ			8,6	%

V_{PR}: показание пикового значения напряжения. Граница ошибки определена в предположении, что осциллограф имеет разрешение по вертикали 8 битов с возможностью интерполяции (треугольная функция плотности вероятности).

A: ослабление в датчике напряжения при постоянном токе. Предполагаются значение ослабления 1000 и граница ошибки 5 % (прямоугольная функция плотности вероятности).

δR: поправка за счет недостаточной повторяемости измерений из-за измерительной установки, измерительного оборудования и его размещения. Это оценка типа А на основе формулы экспериментального стандартного отклонения при повторных измерениях пикового значения напряжения. Предполагается оценка 0 и граница ошибки 3 % (единичное стандартное отклонение).

δV: учитывает неопределенность амплитудных измерений осциллографа при постоянном токе. Предполагаемая оценка 0 и граница ошибки 2 % с прямоугольной функцией плотности вероятности.

β: коэффициент, который зависит от формы импульсного отклика измерительной системы и стандартной формы переходного процесса в окрестности его вершины (см. С.3.7). Значение 7,0 ± 0,8 является представительным для широкого класса систем, каждая из которых имеет различные формы импульсной характеристики.

B: значение оценки и границы ошибки такие же, как в С.3.2.

Подобным же образом может быть получен бюджет неопределенности при нагрузке 1 кОм. В этом случае учитывается ширина полосы частот измерительной системы с датчиком напряжения 1 кОм вместо ширины полосы частот с датчиком 50 Ом.

С.3.4 Длительность импульса напряжения электрических быстрых переходных процессов (пачек)

Измеряемая величина представляет собой длительность импульса напряжения электрических быстрых переходных процессов (пачек) на нагрузке 50 Ом, вычисляемую с использованием функциональной зависимости

$$t_w = (T_{50\%,F} - T_{50\%\ R} + \delta R)\sqrt{1-\left(\frac{\beta}{B}\right)^2},$$

где $T_{50\ \%,\ R}$ — время при 50 %-ной максимальной амплитуде по возрастающему фронту электрических быстрых переходных процессов (пачек);

$T_{50\ \%,\ F}$ — время при 50 %-ной максимальной амплитуде по падающему фронту электрических быстрых переходных процессов (пачек);

δR — поправка на повторяемость;

B — полоса пропускания измерительной системы на уровне минус 3 дБ;

β — коэффициент, значение которого равно (7,0 ± 0,8) МГц.

Таблица С.3 — Пример бюджета неопределенности измерений для длительности импульса напряжения электрических быстрых переходных процессов (пачек) t_W

Обозначение	Оценка	Единица измерения	Граница ошибки	Единица измерения	ФПВ[a]	Делитель	$u(x_i)$	c_i	Единица измерения	$u_i(y)$	Единица измерения
$T_{50\ \%,\ R}$	3,5	нс	0,10	нс	Треугольная	2,45	0,041	–1,00	нс	0,0408	нс
$T_{50\ \%,\ F}$	54,5	нс	0,10	нс	Треугольная	2,45	0,041	1,00	нс	0,0408	нс

Окончание таблицы С.3

Обозначение	Оценка	Единица измерения	Граница ошибки	Единица измерения	ФПВ[a]	Делитель	$u(x_i)$	c_i	Единица измерения	$u_i(y)$	Единица измерения
δR	0	нс	1,5	нс	Нормальная (k = 1)	1,00	0,150	1,00	нс	1,50	нс
β	7,0	МГц	0,8	МГц	Прямоугольная	1,73	0,462	–0,0040	МГц	0,0021	нс
B	400	МГц	30	МГц	Прямоугольная	1,73	17,32	$8,0 \cdot 10^{-5}$	МГц	0,0014	нс
[a] Функция плотности вероятности.							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			1,502	нс
							$U(y) = 2u_c(y)$			3,00	нс
							Y			51,0	нс
							Выраженное в процентах от 51,0 нс			5,9	%

$T_{50\ \%,\ R}$, $T_{50\ \%,\ F}$: показания при 50 % пикового значения по возрастающему и падающему фронтам напряжения электрических быстрых переходных процессов (пачек). Граница ошибки определена в предположении, что частота дискретизации равна 5 ГГц (такая же, как в С.3.2) и осциллограф имеет возможность интерполяции следа (треугольная функция плотности вероятности). Если это не имеет места, следует предположить прямоугольную функцию плотности вероятности. Здесь рассматривается только составляющая неопределенности измерений, связанная с частотой дискретизации; для дополнительных составляющих, см. С.3.5. Предполагается, что показание $T_{50\ \%,\ R}$ = 3,5 нс, показание $T_{50\ \%,\ F}$ = 54,5 нс.

δR: поправка за счет недостаточной повторяемости измерений разности $T_{50\ \%,\ F}$ и $T_{50\ \%,\ R}$ из-за измерительного оборудования, расположения измерительной установки и непосредственно испытательного генератора электрических быстрых переходных процессов (пачек). Она определяется экспериментально. Это оценка типа А на основе формулы экспериментального стандартного отклонения при повторных измерениях пикового значения напряжения. Предполагается оценка 0 нс и граница ошибки $s(q_k)$ = 1,5 нс (единичное стандартное отклонение функции нормальной плотности вероятности).

β: значение оценки и границы ошибки такие же, как в С.3.3.

B: значение оценки и границы ошибки такие же, как в С.3.2.

Подобным же образом может быть получен бюджет неопределенности при нагрузке 1 кОм. В этом случае учитывается ширина полосы частот измерительной системы с датчиком напряжения 1 кОм вместо ширины полосы частот с датчиком 50 Ом.

С.3.5 Дополнительные составляющие неопределенности при измерении времени

Частота дискретизации: обычно значение этой неопределенности равно половине величины, обратной частоте дискретизации осциллографа. Распределение может быть принято треугольным (k = 2,45), если осуществляется интерполяция следа для получения значения времени при заданном уровне следа (см. руководство осциллографа). Если это не имеет места, следует предположить прямоугольную функцию плотности вероятности с k, равным 1,73.

Ошибка временной развертки и мерцания: технические характеристики осциллографа могут быть приняты в качестве неопределенностей с прямоугольными распределениями. Обычно эти составляющие незначительны.

Вертикальное разрешение: составляющая зависит от вертикального разрешения по амплитуде ΔA и крутизны следа dA/dt. Неопределенность связана с половиной ширины разрешения и равна $(\Delta A/2)/(dA/dt)$. Если осуществляется интерполяция следа (см. руководство осциллографа), используется треугольное распределение плотности вероятности, в противном случае используется прямоугольное распределение. Эта составляющая чаще всего незначительна.

С.3.6 Искажение времени нарастания из-за ограниченной ширины полосы частот измерительной системы

Искажение времени нарастания оценивают по обычному правилу объединения времен нарастания при последовательном соединении двух невзаимодействующих систем и монотонном возрастании их переходных функций при воздействии скачка напряжения, т. е.

$$t_{rd} = \sqrt{t_r^2 - T_{MS}^2}, \qquad (C.1)$$

где t_{rd} — время нарастания сигнала на выходе измерительной системы (искаженное время нарастания);
t_r — время нарастания сигнала на входе измерительной системы;
T_{MS} — время нарастания переходной функции измерительной системы.

Важно отметить, что вывод (С.1) основывается на следующем определении времени нарастания:

$$T_{MS} = \sqrt{2\pi \int_0^{\infty} (t - T_s)^2 h_0(t) dt}. \quad (C.2)$$

где $h_0(t)$ — импульсная характеристика измерительной системы, имеющая нормализованную площадь, т. е.

$$\int_0^{\infty} h_0(t) dt = 1. \quad (C.3)$$

T_s — задержка времени, вычисляемая по формуле

$$T_s = \int_0^{\infty} t h_0(t) dt. \quad (C.3)$$

Определение (С.2) является более простым для применения с математической точки зрения, чем обычное определение, основанное на пороговых уровнях 10 % и 90 %. Тем не менее в технических приложениях применение времени нарастания от 10 % до 90 % обычно сочетается с применением уравнения (С.1). При заданной ширине полосы частот применение двух определений приводит к сопоставимым временам нарастания. Действительно, если ввести коэффициент α:

$$\alpha = T_{MS} B, \quad (C.4)$$

то можно показать, что значения α, полученные при использовании двух определений времени нарастания, отличаются несущественно. Значения α, соответствующие различным формам импульсной характеристики $h(t)$, приведены в таблице С.4. Как видно из таблицы С.4, определить единственное значение α не представляется возможным, поскольку α зависит не только от принятого определения времени нарастания [например, на основе пороговых значений или уравнения (С.2)], но и от формы импульсной характеристики измерительной системы. Разумная оценка может быть получена как среднее арифметическое значений, указанных в таблице С.4: минимального значения ($321 \cdot 10^{-3}$) и максимального значения ($399 \cdot 10^{-3}$), т. е. $360 \cdot 10^{-3}$. Далее следует предположить, что если отсутствует информация об измерительной системе, помимо ее ширины полосы частот, то равновероятны любые значения α между $321 \cdot 10^{-3}$ и $399 \cdot 10^{-3}$. Таким образом, предполагается, что α — случайная величина, имеющая прямоугольную функцию плотности вероятности с нижней и верхней границами $321 \cdot 10^{-3}$ и $399 \cdot 10^{-3}$ соответственно. Стандартная неопределенность α количественно определяет:

a) нейтральность к математической модели, принятой для определения времени нарастания, и
b) нейтральность к форме импульсной характеристики.

Таблица С.4 — Коэффициент α [формула (С.4)] для различных однонаправленных импульсных характеристик, соответствующих одной и той же ширине полосы частот системы B

Значение α, умноженное на 10^3	Импульсная характеристика				
	Гауссовская	1-го порядка	2-го порядка (критическое демпфирование)	прямоугольная	треугольная
α с использованием формулы С.2	332	399	363	321	326
α с использованием пороговых значений10 % и 90 %	339	350	344	354	353

С.3.7 Искажения пикового значения и длительности импульса из-за ограниченной ширины полосы частот измерительной системы

Искаженную форму импульса $v_{out}(t)$ на выходе измерительной системы получают с использованием интеграла свертки

$$v_{out}(t) = \int_0^{t} v_{in}(\tau) h(t - \tau) d\tau, \quad (C.5)$$

где $v_{in}(t)$ — форма входного импульса;

$h(t)$ — импульсная характеристика измерительной системы.

Следует учитывать, что $A \cdot h(t) = h_0(t)$ (A — ослабление в измерительной системе при постоянном токе). Входной сигнал может быть аппроксимирован при его разложении в ряд Тейлора для момента времени t_p, когда входной сигнал достигает максимального значения V_p:

$$v_{in}(t) = V_p + \frac{v''_{in}(t_p)}{2}(t-t_p)^2 + \frac{v'''_{in}(t_p)}{6}(t-t_p)^3 + \ldots \quad (C.6)$$

Следует обратить внимание на то, что слагаемое первого порядка в (С.6) отсутствует, т. к. $v'(t_p) = 0$. Далее $v''(t_p) < 0$, потому что точки вогнутости находятся внизу (максимум сигнала), и $v'''(t_p) > 0$, поскольку для стандартных форм сигналов время нарастания меньше времени спада. Подставляя (С.6) в (С.5) и после упрощений с учетом того, что ширина полосы частот измерительной системы является большой по отношению к полосе частот входного сигнала (так что члены степенного ряда, порядок которых больше двух, пренебрежимо малы), получаем

$$V_{pd} = \frac{V_p}{A}\left[1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2\right], \quad (C.7)$$

где V_{pd} — пиковое значение выходного импульса;

A — ослабление в измерительной системе при постоянном токе;

$$\beta = \alpha\sqrt{\frac{|v''_{in}(t_p)|}{4\pi V_p}}. \quad (C.8)$$

Следует отметить, что параметр β зависит от второй производной стандартного входного сигнала и параметр определен в С.3.6. Так как математическое выражение для стандартных сигналов электрических быстрых переходных процессов (пачек) приведено в 6.2.2, значение β может быть вычислено и равно (7,0 ± 0,8) МГц.

Оценку искажения длительности входного импульса t_w можно получить, учитывая, что площадь выходного импульса равна площади входного импульса, деленного на ослабление измерительной системы при постоянном токе А. Поэтому

$$V_p t_w = A V_{pd} t_{wd}, \quad (C.9)$$

где t_{wd} — длительность выходного импульса.

Следовательно,

$$t_{wd} = \frac{V_p}{A V_{pd}} t_w = \frac{1}{1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2} t_w. \quad (C.10)$$

С.4 Калибровка устройства связи

При калибровке параметров электрических быстрых переходных процессов (пачек) на выходе устройств связи/развязки используются те же самые образцы измерительного оборудования (аттенюаторы, осциллографы и т. д.), а также некоторые адаптеры для подключения данного оборудования к конкретным клеммам устройства связи/развязки.

Примечание — Из-за пониженного качества функционирования указанных адаптеров на высокой частоте трудно провести надежные высокочастотные измерения этих адаптеров и, следовательно, правильно определить составляющие неопределенности измерений.

Рекомендуется следующая процедура для квалификации адаптеров:

- измерить сопротивление заземляющего проводника на постоянном токе: сопротивление должно быть менее 0,4 Ом;
- измерить сопротивление внутреннего проводника на постоянном токе: сопротивление должно быть менее 0,4 Ом;
- измерить сопротивление между внутренним проводником и заземлением на постоянном токе. Это сопротивление должно иметь «бесконечное» значение; должна быть предусмотрена достаточная изоляция, выдерживающая воздействие применяемых электрических быстрых переходных процессов (пачек) (2 кВ или более);
- охарактеризовать влияние этих адаптеров. Для этого установить опорные значения, подключив 50-омный коаксиальный конец адаптера к коаксиальному выходу генератора электрических быстрых переходных процессов (пачек) (но не к выходу устройства схемы связи/развязки) и измерить параметры импульса. Затем включить между выходом генератора и нагрузкой 50 Ом два адаптера, соединенные «лицом к лицу», и снова измерить параметры импульса. Значение параметров импульса с использованием и без использования пары адаптеров на линии

оценивается на достаточном числе импульсов. Разность между измеряемыми параметрами импульса (которая представляет собой вносимые потери адаптеров, которые могут быть компенсированы) является мерой дополнительной неопределенности измерений, вызываемой адаптерами. Расчетные значения равны 4 % для амплитуд напряжения, 60 пс — для времени нарастания и 4 нс — для длительности импульса;

- определить неопределенность адаптера пачки, равную наибольшему значению наблюдаемой разности (предполагается прямоугольное распределение).

Несмотря на то, что влияние адаптеров было охарактеризовано с использованием пары адаптеров, деление на два наблюдаемой разности значений (с использованием и без использования пары адаптеров на линии) в настоящее время не рекомендуется.

С.5 Применение неопределенностей измерений в критерии соответствия генератора электрических быстрых переходных процессов (пачек)

Как правило, для того, чтобы гарантировать, что генератор соответствует установленным к нему требованиям, результаты калибровки не должны выходить за пределы допустимых отклонений характеристик, установленные в настоящем стандарте (допустимые отклонения не уменьшаются с учетом неопределенностей измерений).

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочного международного стандарта межгосударственному стандарту

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC 60050-161:1990	—	*,1)
* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.		

1) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 50397—2011 (МЭК 60050-161:1990).

Библиография

[1] IEC 60050-311:2001 International Electrotechnical Vocabulary — Electrical and electronic measurements and measuring instruments — Part 311: General terms relating to measurements
(Международный электротехнический словарь. Электрические и электронные измерения и измерительные приборы. Часть 311. Общие термины, относящиеся к измерениям)

[2] IEC 60050-702:1992 International Electrotechnical Vocabulary — Chapter 702: Oscillations, signals and related devices
(Международный электротехнический словарь. Глава 702. Колебания, сигналы и связанные с ними устройства)

[3] IEC 61000-4-2:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-2: Testing and measurement techniques — Electrostatic discharge immunity test
[Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-2. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к электростатическому разряду]

[4] IEC 61000-4-4:2004* Amendment 1 (2010) Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-4: Testing and measurement techniques — Electrical fast transient/burst immunity test
[Электромагнитная совместимость (ЭМС) — Часть 4-4. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к электрическим быстрым переходным процессам/пачкам]
Изменение 1 (2010)

[5] IEC 61000-4-5:2005** 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 выбросу напряжения]

[6] IEC Guide 107 Electromagnetic compatibility — Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications
Электромагнитная совместимость. Руководство по разработке публикаций по электромагнитной совместимости

* Заменен на IEC 61000-4-4 (2012).

** Заменен на IEC 61000-4-5 (2014).

УДК 621.396/.397.001.4:006.354 МКС 33.100.20

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, электрическое и электронное оборудование, устойчивость к электромагнитным помехам, электрические быстрые переходные процессы (пачки), требования, методы испытаний, неопределенность измерений, методы калибровки

Редактор переиздания *Е.В. Яковлева*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 14.05.2020. Подписано в печать 06.07.2020. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,32.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru