ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

СТБ IEC 61000-4-2-2011

Электромагнитная совместимость

Часть 4-2. Методы испытаний и измерений

ИСПЫТАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ РАЗРЯДАМ

Электрамагнітная сумяшчальнасць

Частка 4-2. Метады выпрабаванняў і вымярэнняў

ВЫПРАБАВАННІ НА ЎСТОЙЛІВАСЦЬ ДА ЭЛЕКТРАСТАТЫЧНЫХ РАЗРАДАЎ

(IEC 61000-4-2:2008, IDT)

Издание официальное

БЗ 9-2011

Госстандарт

Минск

gost.e-ecolog.ru

УДК 621.391.827.08(083.74)(476) МКС 33.100.20 КП 03 IDT

Ключевые слова: совместимость электромагнитная, разряд электростатический, испытательные уровни, методы испытаний

Предисловие

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

1 ПОДГОТОВЛЕН открытым акционерным обществом «Испытания и сертификация бытовой и промышленной продукции «БЕЛЛИС» (ОАО «БЕЛЛИС»)

ВНЕСЕН Госстандартом Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 25 ноября 2011 г. № 83

3 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 61000-4-2:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test (Электромагнитная совместимость (EMC). Часть 4-2. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к электростатическому разряду).

Международный стандарт разработан подкомитетом 77B «Высокочастотные явления» технического комитета по стандартизации IEC/TC 77 «Электромагнитная совместимость» Международной электротехнической комиссии (IEC).

Перевод с английского языка (en).

В стандарт внесено следующее редакционное изменение: наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования международного стандарта в связи с особенностями системы технического нормирования и стандартизации Республики Беларусь.

Официальные экземпляры международного стандарта, на основе которого подготовлен настоящий государственный стандарт, и международных стандартов, на которые даны ссылки, имеются в Национальном фонде ТНПА.

В разделе «Нормативные ссылки» и тексте стандарта ссылочные международные стандарты актуализированы.

Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочному международному стандарту приведены в дополнительном приложении Д.А.

Степень соответствия – идентичная (IDT)

4 Настоящий государственный стандарт взаимосвязан с техническим регламентом ТР 2007/002/BY «Электромагнитная совместимость технических средств» и реализует его существенные требования безопасности.

Соответствие взаимосвязанному государственному стандарту обеспечивает выполнение существенных требований безопасности технического регламента ТР 2007/002/BY «Электромагнитная совместимость технических средств»

5 ВЗАМЕН СТБ МЭК 61000-4-2-2006

© Госстандарт, 2011

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта Республики Беларусь

Издан на русском языке

Содержание

Введение ... IV
1 Область применения ... 1
2 Нормативные ссылки ... 1
3 Термины и определения ... 2
4 Общие положения ... 3
5 Испытательные уровни ... 3
6 Испытательный генератор ... 4
6.1 Общие положения ... 4
6.2 Технические характеристики и параметры испытательного генератора электростатических разрядов ... 4
6.3 Верификация характеристик генератора электростатических разрядов ... 7
7 Организованное место для испытаний ... 7
7.1 Испытательное оборудование ... 7
7.2 Организованное место для испытаний, проводимых в испытательных лабораториях ... 7
7.2.1 Испытательное оборудование ... 7
7.2.2 Настольное оборудование ... 8
7.2.3 Напольные оборудование ... 9
7.2.4 Незаземленное оборудование ... 10
7.3 Организованное место для испытаний, проводимых на месте эксплуатации ... 14
8 Методы испытаний ... 14
8.1 Испытания в лабораторных условиях ... 14
8.1.1 Условия окружающей среды ... 14
8.1.2 Климатические условия ... 14
8.1.3 Электромагнитная обстановка ... 14
8.2 Режимы работы испытуемого оборудования ... 14
8.3 Проведение испытаний ... 15
8.3.1 Разряды на испытуемое оборудование ... 15
8.3.2 Прямое воздействие электростатического разряда на испытуемое оборудование ... 16
8.3.3 Непрямое воздействие разрядом ... 17
9 Оценка результатов испытаний ... 18
10 Протокол испытаний ... 18
Приложение А (справочное) Пояснения ... 19
Приложение В (обязательное) Калибровка системы измерения тока и измерение тока разряда ... 23
Приложение С (справочное) Пример калибровки датчика в соответствии с приложением В ... 29
Приложение D (справочное) Излучаемые поля от разрядов человека на металл и генераторов электростатических разрядов ... 35
Приложение Е (справочное) Анализ неопределенности измерений ... 43
Приложение F (справочное) Различие в результатах испытаний и стратегия расширения ... 49
Библиография ... 50
Приложение Д.А (справочное) Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочному международному стандарту ... 51

Введение

Стандарты серии 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 помехоэмиссии
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
Руководство по установке
Методы помехоподавления и устройства
Часть 9: Разное

Каждая часть состоит из разделов, которые могут быть опубликованы как международные стандарты или технические отчеты. Некоторые из них уже опубликованы. Другие будут опубликованы с номером части, за которым следуют дефис и второй номер, иденцифицирующий раздел (например, 61000-6-1).

Настоящий стандарт устанавливает требования помехоустойчивости и методы испытаний к электростатическим разрядам.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Электромагнитная совместимость
Часть 4-2. Методы испытаний и измерений
ИСПЫТАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ РАЗРЯДАМ

Электрамагнітная сумяшчальнасць
Частка 4-2. Метады выпрабаванняў і вымярэнняў
ВЫПРАБАВАННІ НА ЎСТОЙЛІВАСЦЬ ДА ЭЛЕКТРАСТАТЫЧНЫХ РАЗРАДАЎ

Electromagnetic compatibility
Part 4-2. Testing and measurement techniques
Electrostatic discharge immunity test

Дата введения 2012-07-01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования помехоустойчивости и методы испытаний электрического и электронного оборудования, подвергаемого электростатическим разрядам (ЭСР) как при прямом воздействии от оператора, так и непрямом воздействии от персонала на расположенные вблизи объекты. Стандарт устанавливает испытательные уровни, которые относятся к различным условиям эксплуатации оборудования, а также методы испытаний.

Целью стандарта является установление общих и воспроизводимых правил оценки качества функционирования электрического и электронного оборудования, подвергнутого воздействию электростатических разрядов. Кроме того, это установление также включает электростатические разряды, которые могут произойти от персонала на объекты, находящиеся возле жизненно важного оборудования.

Настоящий стандарт устанавливает:

– типовую форму тока разряда;
– испытательные уровни;
– испытательное оборудование;
– организованное место для испытаний;
– методы испытаний;
– методы калибровки;
– неопределенность измерений.

В стандарте приведены методы проведения испытаний в лабораторных условиях и испытаний на месте эксплуатации оборудования после его окончательной установки.

Настоящий стандарт не устанавливает испытаний к конкретному оборудованию или системам. Его главной задачей является обеспечение всех заинтересованных технических комитетов по стандартизации Международной электротехнической комиссии, разрабатывающих стандарты на продукцию, общими ссылочными данными. Технические комитеты по стандартизации (или пользователи и изготовители оборудования) несут ответственность за выбор подходящих видов испытаний и испытательных уровней, применяемых для испытуемого оборудования (ИО).

Чтобы не препятствовать задаче координации и стандартизации, техническим комитетам или пользователям и изготовителям рекомендуется рассмотреть (в их будущей работе или при пересмотре устаревших стандартов) принятие соответствующих испытаний на помехоустойчивость, приведенных в настоящем стандарте.

2 Нормативные ссылки

Следующие стандарты, на которые даны ссылки, являются обязательными для применения в настоящем стандарте. Для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного стандарта (включая все изменения).

IEC 60050-161:1990 Международный электротехнический словарь. Глава 161. Электромагнитная совместимость

Издание официальное

IEC 60068-1:1988 Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство

3 Термины и определения

Для целей настоящего стандарта используют следующие термины и определения, применяемые в области электростатического разряда (не все из них включены в IEC 60050-161).

3.1 метод воздушного разряда (air discharge method): Метод испытаний, при котором разрядный наконечник испытательного генератора приближают к испытуемому оборудованию, пока он не коснется его.

3.2 антистатический материал (antistatic material): Материал со свойствами, минимизирующими создание заряда при трении или отделении от такого же или другого аналогичного материала.

3.3 калибровка (calibration): Совокупность операций, которые устанавливают в соответствии со стандартами соотношение, которое существует при определенных условиях, между показаниями и результатом измерения.

Примечание 1 – Этот термин основан на понятии «неопределенность».

Примечание 2 – Соотношение между показаниями и результатом измерения может быть выражено в виде калибровочной диаграммы [IEV 311-01-09].

3.4 испытание на соответствие (conformance test): Испытание типового образца оборудования с целью определения соответствия оборудования, разработанного и произведенного в заявленном виде, требованиям настоящего стандарта.

3.5 метод контактного разряда (contact discharge method): Метод испытаний, при котором разрядный наконечник испытательного генератора (ИГ) во время разряда удерживается в контакте с испытуемым оборудованием или пластиной связи и разряд производится при помощи разрядного ключа внутри испытательного генератора.

3.6 пластина связи (coupling plane): Металлический лист или пластина, которые подвергаются электростатическому разряду при имитации непрямого воздействия электростатического разряда на испытуемое оборудование; ГПС – горизонтальная пластина связи; ВПС – вертикальная пластина связи.

3.7 ухудшение качества функционирования (degradation (of performance): Нежелательное отклонение от установленных функциональных характеристик любого устройства, оборудования или системы.

Примечание – Настоящий термин может применяться к временной или постоянной неисправности [IEV 161-01-19].

3.8 прямое воздействие (direct application): Применение электростатического разряда непосредственно на испытуемое оборудование.

3.9 электромагнитная совместимость; ЭМС (electromagnetic compatibility; EMC): Способность оборудования или системы удовлетворительно функционировать в окружающей электромагнитной обстановке без создания недопустимых электромагнитных помех какому-либо оборудованию в этой обстановке [IEV 161-01-07].

3.10 электростатический разряд; ЭСР (electrostatic discharge; ESD): Перенос электрического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами через микрозазор или через прямой контакт [IEV 161-01-22].

3.11 накопительный конденсатор (energy storage capacitor): Конденсатор испытательного генератора, соответствующий электрической емкости тела человека, заряженного до значения испытательного напряжения.

Примечание – Это может быть обеспечено дискретным компонентом или распределенной емкостью.

3.12 ИО (EUT): Испытуемое оборудование.

3.13 эталонная пластина заземления (ground reference plane (GRP): Ровная проводящая поверхность, потенциал которой используется как общий нулевой потенциал [IEV 161-04-36].

3.14 время удержания заряда (holding time): Промежуток времени до разряда, в течение которого снижение выходного напряжения испытательного генератора, вызванное утечкой в накопительном конденсаторе, не превышает 10 %.

3.15 устойчивость к электромагнитной помехе; помехоустойчивость (immunity (to a disturbance): Способность устройства, оборудования или системы сохранять заданное качество функционирования при наличии электромагнитных помех [IEV 161-01-20].

3.16 непрямое воздействие (indirect application): Применение электростатического разряда на пластину связи, размещенную вблизи испытуемого оборудования и имитирующую разряд от обслуживающего персонала на объекты, расположенные вблизи испытуемого оборудования.

3.17 время нарастания (rise time): Интервал времени между моментами, при которых мгновенные значения импульса впервые достигают установленных минимальных и максимальных значений.

Примечание – Если не указано иное, минимальное и максимальное значения установлены на уровнях 10 % и 90 % от величины импульса [IEV 161-02-05, модифицированный].

3.18 верификация (verification): Комплекс операций, используемых для проверки системы испытательного оборудования (например, испытательный генератор и соединительные кабели) и для подтверждения функционирования испытательной системы.

Примечание 1 – Методы, применяемые при верификации, могут отличаться от методов, применяемых при калибровке.

Примечание 2 – Для целей настоящего стандарта настоящее определение отличается от определения, приведенного в IEV 311-01-13.

4 Общие положения

Настоящий стандарт распространяется на оборудование, системы, подсистемы и периферийные устройства, которые могут подвергаться ЭСР в реальных условиях окружающей среды и эксплуатации, таких как низкая относительная влажность, использование покрытий с низкой проводимостью (искусственное волокно), одежды из винила и т. п., которые могут быть в положениях, определенных в стандартах, имеющих отношение к электрическому или электронному оборудованию (более подробную информацию см. в А.1 приложения А).

Примечание – С технической точки зрения более точным термином, отражающим этот процесс, является термин «разряд статического электричества». Однако термин «электростатический разряд» широко используется в технической практике и в технической литературе. Поэтому было принято решение сохранить термин «электростатический разряд» в названии настоящего стандарта.

5 Испытательные уровни

Предпочтительные испытательные уровни при воздействии ЭСР приведены в таблице 1.

Предпочтительным методом испытаний является метод контактного разряда. Метод воздушного разряда используют в случаях, когда невозможно применить контактный разряд. Напряжения для каждого метода проведения испытаний указаны в таблице 1. Указанные напряжения различны для каждого метода из-за их особенностей. Но это не значит, что испытательные уровни эквивалентны между методами испытаний.

Более подробная информация относительно различных параметров, которые могут влиять на уровень напряжения, до которого может быть заряжено тело человека, приведена в разделе А.2. Раздел А.4 также содержит примеры по выбору испытательных уровней, соответствующих различным условиям эксплуатации оборудования.

Для испытаний методом воздушного разряда испытание должно проводиться для всех испытательных уровней, указанных в таблице 1, вплоть до и включая указанный испытательный уровень. Для испытаний методом контактного разряда испытание должно проводиться только для указанного испытательного уровня, если иное не указано комитетом по продукции.

Дополнительная информация приведена в разделах А.3, А.4 и А.5.

Таблица 1 – Испытательные уровни

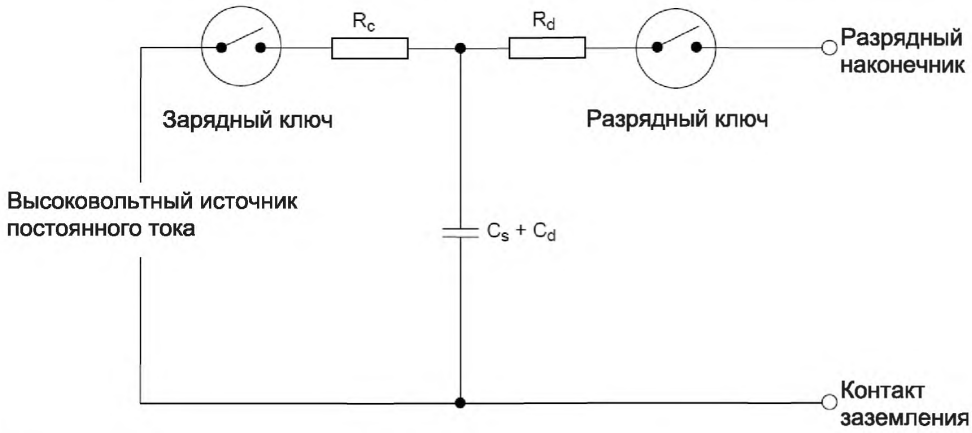
Контактный разряд		Воздушный разряд	
Испытательный уровень	Испытательное напряжение, кВ	Испытательный уровень	Испытательное напряжение, кВ
1	2	1	2
2	4	2	4
3	6	3	8
4	8	4	15
x [a)]	Специальное	x [a)]	Специальное

[a)] x – любой уровень со значением испытательного напряжения до, свыше или между значениями других испытательных уровней. Испытательное напряжение должно быть указано в технической документации на конкретное оборудование. Если установлено более высокое испытательное напряжение, чем указано для испытательных уровней 1 – 4, необходимо использовать специальное испытательное оборудование.

6 Испытательный генератор

6.1 Общие положения

Основными элементами ИГ являются:
– зарядный резистор R_c;
– накопительный конденсатор C_s;
– распределенная емкость C_d;
– разрядный резистор R_d;
– индикатор напряжения;
– разрядный ключ;
– зарядный ключ;
– сменные наконечники разрядного электрода (см. рисунок 3);
– провод заземления генератора ЭСР;
– источник электропитания.
Упрощенная схема генератора ЭСР приведена на рисунке 1. Детальная конструкция не приводится.



Примечание 1 – C_d представляет собой распределенную емкость между генератором и окружающими предметами.
Примечание 2 – Типичная емкость C_d + C_s 150 пФ.
Примечание 3 – Типичное сопротивление R_d 330 Ом.

Рисунок 1 – Упрощенная схема генератора электростатических разрядов

При оценке генератор ЭСР по процедурам, установленным в приложении В, генератор ЭСР должен соответствовать требованиям, установленным в 6.2. Поэтому ни схема на рисунке 1, ни номиналы элементов не определены точно.

6.2 Технические характеристики и параметры испытательного генератора электростатических разрядов

Испытательный генератор должен соответствовать требованиям, установленным в таблицах 2 и 3. На рисунке 2 отражена идеальная форма импульса разрядного тока и измерительные точки, соответствующие параметрам импульса, приведенным в таблицах 2 и 3. Соответствие этим требованиям должно быть проверено методами, установленными в приложении В.

Таблица 2 – Общие характеристики

Параметр	Значение
Выходное напряжение, контактный разряд (см. примечание 1)	От 1 до 8 кВ (номинальное значение)
Выходное напряжение, воздушный разряд (см. примечание 1)	От 2 до 15 кВ (номинальное значение) (см. примечание 3)
Погрешность выходного напряжения	±5 %
Полярность выходного напряжения	Положительная и отрицательная
Время удержания заряда	Не менее 5 с
Вид разряда	Одиночный разряд (см. примечание 2)
Примечание 1 – Напряжение разомкнутой цепи измеряется на разрядном наконечнике ИГ. Примечание 2 – Для исследовательских целей генератор должен обеспечивать частоту повторения разрядов последовательных импульсов не менее 20 разрядов в секунду. Примечание 3 – Нет необходимости использовать генератор с возможностью производить воздушные разряды 15 кВ, если максимальное используемое испытательное напряжение меньше.	

Таблица 3 – Параметры импульса разрядного тока при контактном разряде

Испытательный уровень	Испытательное напряжение, кВ	Ток первого пика разряда ±15 %, А	Время нарастания t_r ±25 %, нс	Ток разряда ±30 % при 30 нс, А	Ток разряда ±30 % при 60 нс, А
1	2	7,5	0,8	4	2
2	4	15	0,8	8	4
3	6	22,5	0,8	12	6
4	8	30	0,8	16	8
Точка отсчета измерения времени для тока при 30 и 60 нс – в момент времени, когда ток достигает значения 10 % от тока первого пика разряда.					
Примечание 1 – Время нарастания t_r – время интервала между значениями 10 % и 90 % от тока первого пика разряда.					

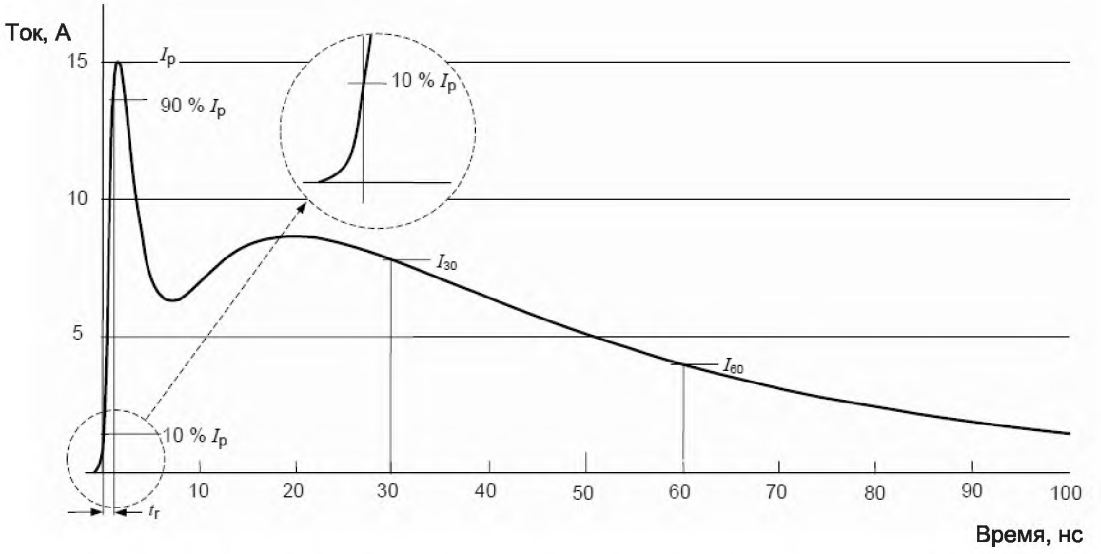


Рисунок 2 – Идеальная форма импульса разрядного тока при контактном разряде 4 кВ

Уравнение для идеальной формы импульса разрядного тока на рисунке 2, *I(t)*:

$$I(t) = \frac{I_1}{k_1} \times \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n}{1+\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^n} \times \exp\left(\frac{-t}{\tau_2}\right) + \frac{I_2}{k_2} \times \frac{\left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n}{1+\left(\frac{t}{\tau_3}\right)^n} \times \exp\left(\frac{-t}{\tau_4}\right),$$

где

$$k_1 = \exp\left(-\frac{\tau_1}{\tau_2}\left(\frac{n\tau_2}{\tau_1}\right)^{1/n}\right),$$

$$k_2 = \exp\left(-\frac{\tau_3}{\tau_4}\left(\frac{n\tau_4}{\tau_3}\right)^{1/n}\right)$$

и

τ_1 = 1,1 нс; τ_2 = 2 нс; τ_3 = 12 нс; τ_4 = 37 нс;
I_1 = 16,6 А (при 4 кВ); I_2 = 9,3 А (при 4 кВ);
n = 1,8.

Генератор должен быть снабжен средствами предотвращения от непреднамеренного излучения или кондуктивной эмиссии импульсного или непрерывного типа для того, чтобы паразитными эффектами не вывести из строя ИО или вспомогательное испытательное оборудование (см. приложение D).

Разрядные наконечники должны соответствовать конфигурации и размерам, показанным на рисунке 3. Наконечники могут быть покрыты изолирующими покрытиями, обеспечивая установленные параметры импульса разрядного тока.



3a – Разрядный наконечник для воздушного разряда



3b – Разрядный наконечник для контактного разряда

Рисунок 3 – Разрядные наконечники для генератора электростатических разрядов

Для испытания методом воздушного разряда используется тот же самый генератор, при этом разрядный ключ должен быть замкнут. Генератор должен быть снабжен закругленным наконечником, приведенным на рисунке 3а. Так как используется тот же самый генератор, никаких дополнительных характеристик для метода воздушного разряда не требуется.

Длина кабеля заземления испытательного генератора должна быть (2 ± 0,05) м, а его конструкция должна обеспечивать выполнение требований к форме генерируемых импульсов разрядного тока. Длина кабеля заземления измеряется от корпуса генератора ЭСР до точки соединения. Изоляция кабеля заземления генератора должна исключать утечку разрядного тока на обслуживающий персонал или через проводящие поверхности в течение испытаний на устойчивость к ЭСР.

При испытаниях должен использоваться тот же либо идентичный кабель, что и при калибровке.

В случаях, когда стандартной длины провода заземления генератора, равной 2 м, не хватает для обеспечения испытаний (например, при высоком ИО), допускается использовать провод заземления генератора длиной не более 3 м. При этом должна быть проверена форма импульса разрядного тока.

6.3 Верификация характеристик генератора электростатических разрядов

Цель верификации – убедиться в том, что организованное место для испытаний на устойчивость к ЭСР исправно функционирует. Организованное место испытаний на устойчивость к ЭСР включает:

– генератор ЭСР;

– провод заземления испытательного генератора;

– стабилизирующие нагрузочные резисторы по 470 кОм;

– эталонную пластину заземления;

– все соединительные части, формирующие цепь разряда.

Примеры организованного места испытаний на устойчивость к ЭСР приведены на рисунке 4 для настольного оборудования и на рисунке 5 для напольного оборудования.

Для верификации организованного места для испытаний может использоваться следующий метод. При установке низких напряжений образуется небольшая искра при воздушном разряде на пластину связи, а при повышении напряжения образуется более крупная искра. Необходимо проверить соединение полосы заземления и ее расположение перед этой верификацией.

Обоснование: так как форма импульса тока генератора ЭСР, как правило, не отличается от нужной точной формы (например, время нарастания импульса и длительность не смещены), скорее всего произойдет сбой генератора ЭСР и напряжение на разрядный наконечник не будет подано либо будет отсутствовать регулировка напряжения. Любой из кабелей, резисторов или соединителей может быть поврежден или отсутствовать, в результате чего разряд не произойдет.

Рекомендуется проводить проверку организованного места для испытаний на устойчивость к ЭСР перед испытанием.

7 Организованное место для испытаний

7.1 Испытательное оборудование

Организованное место для испытаний состоит из испытательного генератора, ИО и вспомогательного оборудования, необходимого для воздействия прямыми и непрямыми разрядами на ИО в следующих случаях:

a) контактными разрядами на проводящие поверхности и на пластины связи;

b) воздушными разрядами на изолированные поверхности.

В зависимости от места проведения испытания разделяют на два типа:

– проводимые в лабораториях;

– проводимые на месте эксплуатации смонтированного оборудования.

Предпочтительным видом испытаний являются испытания, проводимые в лабораториях.

ИО должно быть установлено и смонтировано в соответствии с инструкциями по установке изготовителя (при наличии).

7.2 Организованное место для испытаний, проводимых в испытательных лабораториях

7.2.1 Испытательное оборудование

К испытаниям, проводимым в лабораториях при климатических условиях, указанных в 8.1, устанавливают следующие требования.

Эталонная пластина заземления должна находиться на полу лаборатории. Она должна представлять собой медный или алюминиевый металлический лист толщиной не менее 0,25 мм. Допускается использовать другие металлические материалы, при этом толщина листа должна быть не менее 0,65 мм.

Эталонная пластина заземления должна выступать за контур ИО или горизонтальной пластины связи (если применимо) с каждой стороны не менее чем на 0,5 м и должна быть соединена с системой защитного заземления.

Всегда должны соблюдаться правила техники безопасности.

ИО должно быть установлено и подключено в соответствии с функциональными требованиями.

Расстояние между ИО и стенами лаборатории, а также между любыми металлическими предметами должно составлять не менее 0,8 м.

ИО и генератор ЭСР (включая любой внешний источник питания) должны быть подключены к системе заземления в соответствии с требованиями по эксплуатации, установленными изготовителем. Дополнительные соединения с заземлением не допускаются.

Расположение сигнальных кабелей и кабелей электропитания должно соответствовать принятой установке на практике.

Кабель заземления генератора ЭСР должен быть соединен с эталонной пластиной заземления. В случаях, когда длина кабеля заземления генератора превышает длину, необходимую для применения ЭСР к выбранным точкам, дополнительный кабель, если это возможно, должен располагаться так, чтобы исключить индуктивную наводку на эталонную пластину заземления. Провод заземления должен располагаться не ближе 0,2 м от других проводящих частей, кроме эталонной пластины заземления.

Примечание 1 – Допускается соединять кабель заземления с металлической стеной испытательной лаборатории, если обеспечено соединение стены с эталонной пластиной заземления.

Соединения заземляющих кабелей с эталонной пластиной заземления, а также все другие соединения должны обладать возможно более низким сопротивлением, например, путем использования высокочастотных механических приборных зажимов.

Пластины связи, например при непрямом применении разряда, должны быть изготовлены из металлического листа (медного или алюминиевого) толщиной не менее 0,25 мм (допускается использовать другие металлические материалы, при этом толщина листа должна быть не менее 0,65 мм) и должны быть соединены с эталонной пластиной заземления с помощью кабеля, имеющего на каждом конце резисторы 470 кОм. Резисторы должны быть изолированы, чтобы избежать короткого замыкания, когда провод прикасается к пластине заземления, и должны выдерживать напряжение электростатического разряда.

Примечание 2 – Стабилизирующие нагрузочные резисторы по 470 кОм в составе заземляющих проводов горизонтальной и вертикальной пластин связи (см. рисунки 4 – 8) используются для предотвращения моментального исчезновения заряда после разряда генератора ЭСР на пластину. Это увеличивает влияние ЭСР на ИО. Резисторы должны выдерживать максимальное напряжение разряда, применяемое к плоскости ИО во время испытания. Они должны располагаться близко к обоим концам заземляющего кабеля для обеспечения распределенного сопротивления.

Дополнительные требования для различных типов оборудования приведены ниже.

7.2.2 Настольное оборудование

Организованное место для испытаний должно состоять из непроводящего стола высотой (0,8 ± 0,08) м, установленного на эталонную пластину заземления.

Горизонтальная пластина связи размером (1,6 ± 0,02) × (0,8 ± 0,02) м должна быть размещена на столе. ИО и кабели должны быть изолированы от пластины связи изоляционной прокладкой толщиной (0,5 ± 0,05) мм.

Примечание – Рекомендуется, чтобы изоляционные свойства были постоянными.

Если ИО слишком велико, чтобы быть расположенным на расстоянии не менее 0,1 м от всех сторон горизонтальной пластины связи, то должна быть использована дополнительная идентичная горизонтальная пластина связи, размещенная на расстоянии (0,3 ± 0,02) м от первой. В этом случае должен использоваться стол большего размера или могут использоваться два стола. Горизонтальные пластины связи не должны касаться друг друга и должны быть соединены с эталонной пластиной заземления кабелями с резисторами 470 кОм на каждом конце.

Съемные монтажные ножки ИО следует оставлять на местах.

Пример испытательной установки (организованного места для испытаний) настольного оборудования в условиях испытательной лаборатории приведен на рисунке 4.

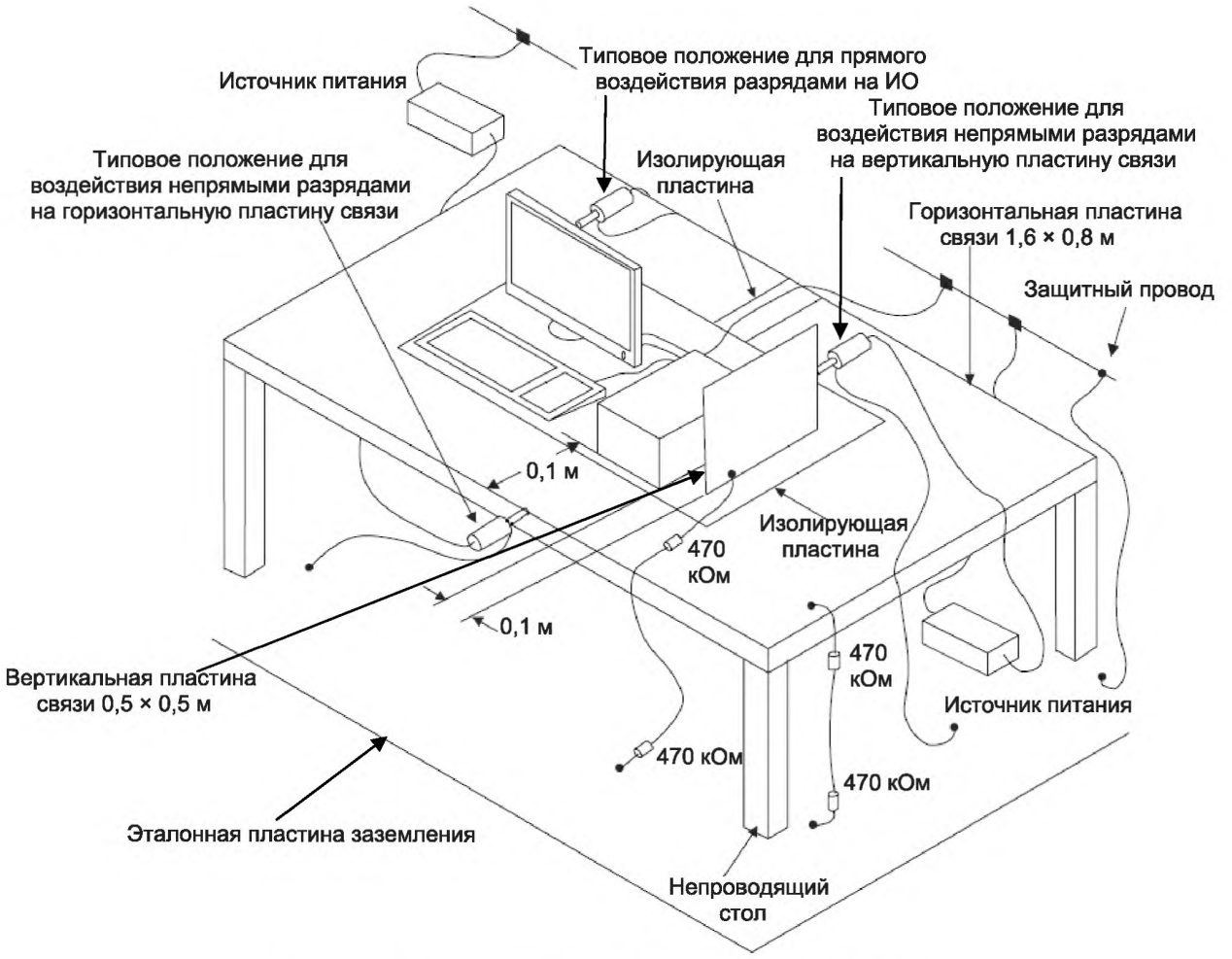


Рисунок 4 – Пример организованного места для испытаний настольного оборудования в испытательной лаборатории

7.2.3 Напольное оборудование

ИО должно быть изолировано от эталонной пластины заземления изоляционной подставкой толщиной от 0,05 до 0,15 м. Кабели должны быть изолированы от эталонной пластины заземления изоляционной подставкой толщиной (0,5 ± 0,05) мм. Эта изоляционная пластина должна превышать размеры изоляционной подставки.

Пример организованного места для испытаний напольного оборудования приведен на рисунке 5.

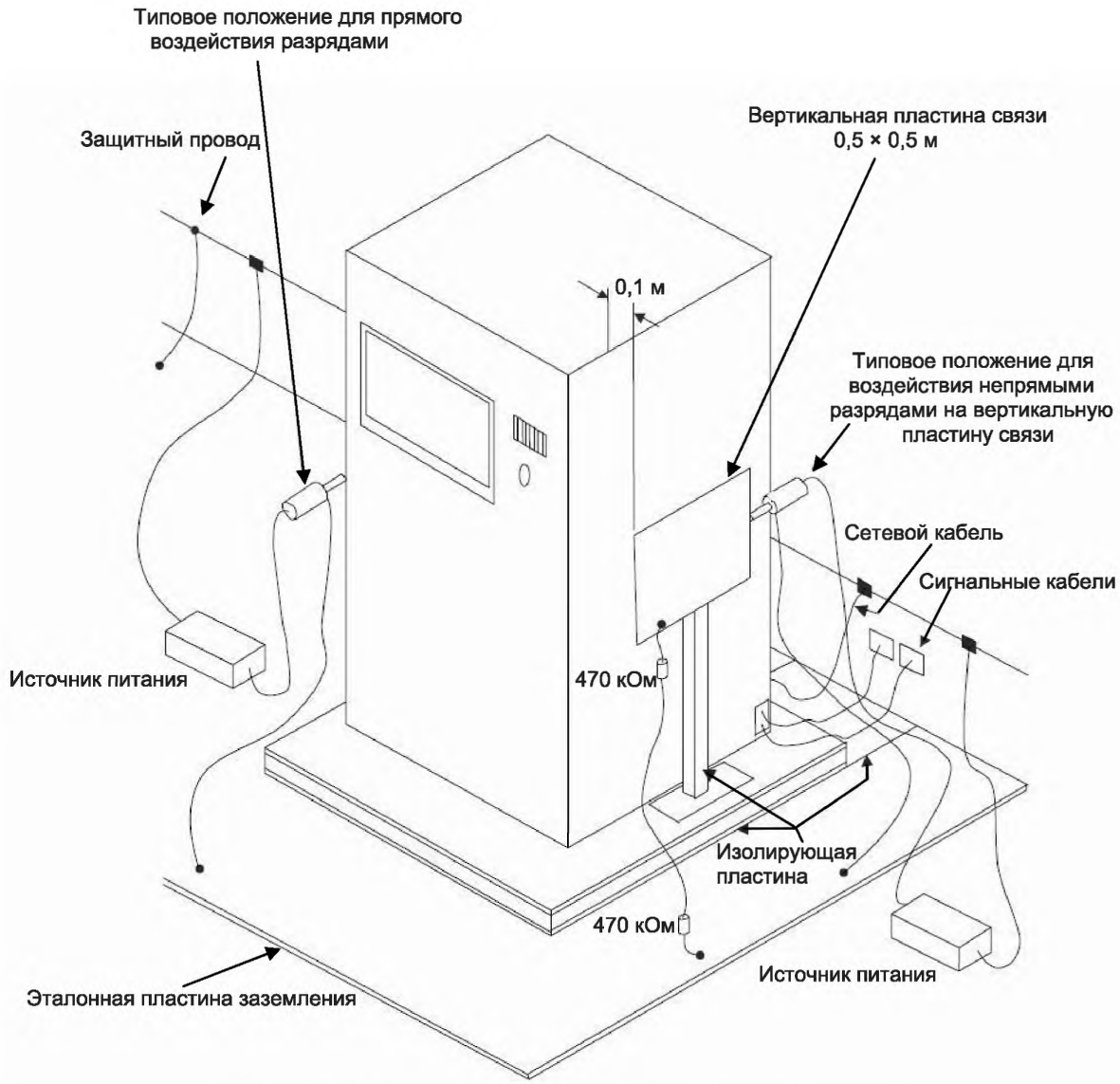


Рисунок 5 – Пример организованного места для испытаний напольного оборудования в испытательной лаборатории

Съемные монтажные ножки ИО следует оставлять на местах.

7.2.4 Незаземленное оборудование

7.2.4.1 Общие положения

Организованное место для испытаний, описанное в настоящем пункте, применяется к оборудованию или части (частям) оборудования, для которого требования по установке или конструкции исключают какое-либо подсоединение к системе заземления. Таким оборудованием является портативное оборудование, с питанием от батарей (внутренним и внешним), с зарядным устройством или без него (незаземленный сетевой кабель), оборудование с двойной изоляцией (оборудование класса II).

Обоснование: незаземленное оборудование или незаземленная часть (части) оборудования не могут сами разрядиться подобно оборудованию класса I, питающемуся от сети. Если оборудование не разряжено прежде, чем применен следующий импульс, то ИО или часть (части) ИО могут подвергнуться удвоенному испытательному напряжению. Поэтому оборудование такого типа может быть заряжено необычно высоким зарядом при накоплении нескольких ЭСР на изоляции оборудования

класса II, и, следовательно, разряд с очень большой энергией достигает напряжения пробоя изоляционного материала.

В общем случае организованное место для испытаний должно соответствовать 7.2.2 и 7.2.3.

При имитации одиночного ЭСР (воздушного или контактного) после каждого предыдущего приложенного к ИО импульса ЭСР должен быть снят остаточный заряд.

Заряд, накопленный на металлической точке или части, к которой был применен ЭСР (например, корпуса разъемов, выводы аккумуляторов, металлические антенны), тоже должен быть снят после каждого предыдущего приложенного импульса ЭСР.

Когда одна или несколько доступных металлических частей подвергаются испытанию на устойчивость к ЭСР, заряд должен быть снят с точки, на которую будет применен импульс ЭСР, так как невозможно гарантировать наличие сопротивления между этой и другой доступными частями на изделии.

Должен быть использован кабель со стабилизирующими нагрузочными резисторами величиной 470 кОм, подобный кабелю, используемому с горизонтальной и вертикальной пластинами связи (см. 7.2).

Так как емкость между ИО и горизонтальной пластиной связи (настольной) и между ИО и эталонной пластиной заземления (напольной) определяется размером ИО, кабель со стабилизирующими нагрузочными резисторами может оставаться подключенным в течение применения ЭСР, если это функционально допускается. В разрядном кабеле один резистор должен быть подключен как можно ближе (насколько это возможно) к испытуемой точке ИО на расстоянии менее 20 мм от испытуемой точки. Второй резистор должен быть подключен около второго конца кабеля, подключенного к горизонтальной пластине связи для настольного оборудования (см. рисунок 6) или к эталонной пластине заземления для напольного оборудования (см. рисунок 7).

На результаты испытаний некоторого оборудования может повлиять наличие кабеля со стабилизирующими нагрузочными резисторами. В спорных случаях проведение испытаний с отключенным кабелем в течение применения ЭСР имеет преимущество перед испытаниями с подключенным кабелем при условии, что заряд между последовательными разрядами достаточно мал.

Как альтернатива могут использоваться следующие варианты:

– временной интервал между последовательными разрядами должен быть увеличен на время, необходимое для естественного снятия заряда с ИО;

– щеточки из углеродистого волокна со стабилизирующими нагрузочными резисторами (например, 2 × 470 кОм) в кабеле заземления.

Примечание – В спорных случаях относительно снятия заряда заряд на ИО может быть проверен неконтактным измерителем электрического поля. Если заряд уменьшился ниже 10 % от начального значения, то ИО считается разряженным.

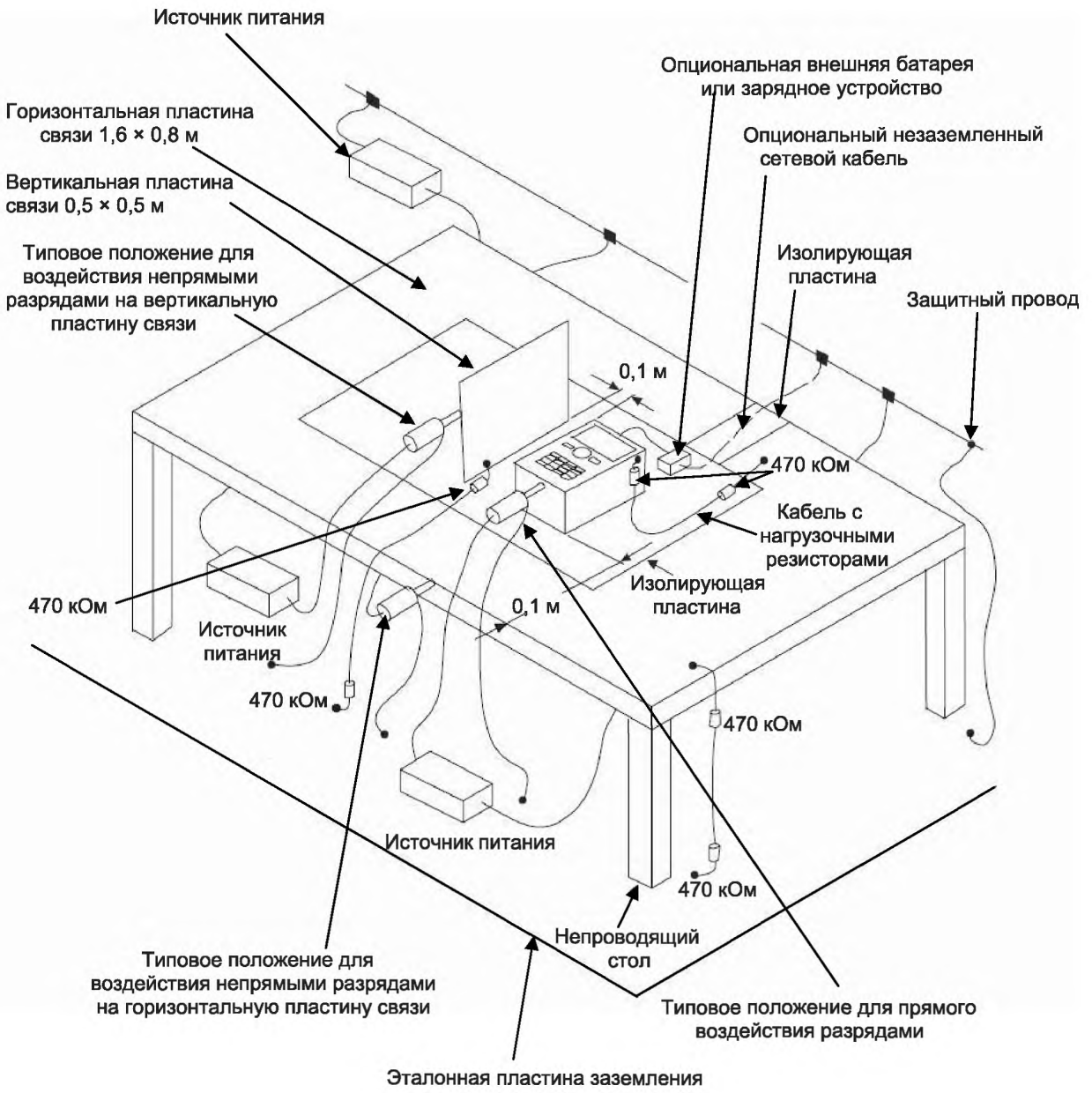


Рисунок 6 – Пример организованного места для испытаний настольного незаземленного оборудования

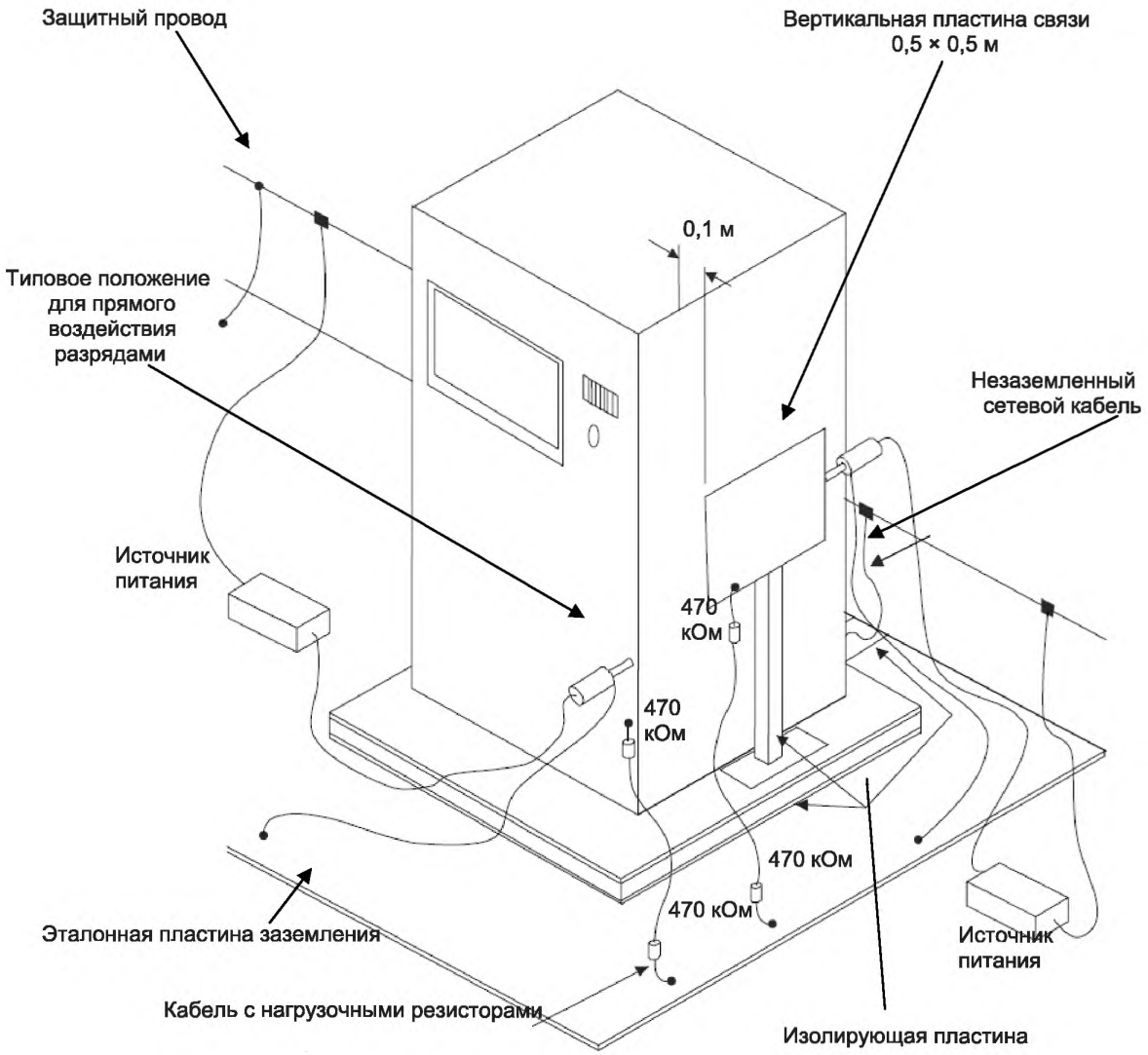


Рисунок 7 – Пример организованного места для испытаний напольного незаземленного оборудования

7.2.4.2 Настольное оборудование

Настольное ИО без металлического соединения с эталонной пластиной заземления должно быть расположено так же, как указано в 7.2.2 и на рисунке 4.

Металлическую доступную часть ИО (при ее наличии), к которой должен быть применен импульс ЭСР, подключают к горизонтальной пластине связи кабелем со стабилизирующими нагрузочными резисторами (см. рисунок 6).

7.2.4.3 Напольное оборудование

Напольное оборудование без металлического соединения с эталонной пластиной заземления должно быть установлено согласно 7.2.3 и рисунку 5.

Кабель со стабилизирующими нагрузочными резисторами должен располагаться между металлической доступной частью, к которой применяют импульс ЭСР, и эталонной пластиной заземления (см. рисунок 7).

7.3 Организованное место для испытаний, проводимых на месте эксплуатации

Испытания на месте эксплуатации проводятся по согласованию между изготовителем и потребителем. Это означает, что другое совместно размещенное оборудование может быть подвергнуто нежелательному воздействию при испытаниях.

Примечание – В дополнение ИО может подвергаться значительному износу от испытаний на месте эксплуатации. Средняя наработка до отказа многих современных электронных цепей сильно уменьшается, если эти цепи однажды подвергались воздействию статического электричества. Неисправность не обязательно может проявиться сразу во время испытаний на устойчивость к ЭСР, но отказ устройства может наступить намного быстрее, чем устройство, которое никогда не подвергалось испытанию на устойчивость к ЭСР. Принимая это во внимание, может быть решено не проводить испытание на месте эксплуатации совсем.

Если решено проводить испытания на месте эксплуатации, то ИО должно быть испытано после полной и окончательной установки.

Для того чтобы упростить подсоединение заземляющего кабеля, эталонную пластину заземления следует уложить на пол вблизи ИО на расстоянии около 0,1 м. Пластина заземления должна быть медной или алюминиевой, толщиной не менее 0,25 мм. Можно использовать пластину заземления из других металлов, при этом толщина листа должна быть не менее 0,65 мм. Пластина заземления должна быть шириной примерно 0,3 м и длиной 2 м, если это позволяет место размещения ИО.

Эталонная пластина заземления должна быть соединена с системой защитного заземления. Там, где это невозможно, эталонную пластину заземления следует соединять с клеммой заземления ИО, если она имеется.

Заземляющий провод генератора ЭСР должен быть соединен с эталонной пластиной заземления. Если ИО установлено на металлическом столе, стол должен быть соединен с пластиной заземления с помощью кабеля, имеющего на каждом конце резисторы 470 кОм, чтобы предотвратить накопление заряда.

Металлические незаземленные части должны испытываться согласно 7.2.4. Кабель со стабилизирующими нагрузочными резисторами должен быть присоединен к эталонной пластине заземления максимально близко к ИО.

Пример организованного места для испытаний оборудования на месте эксплуатации приведен на рисунке 8.

8 Методы испытаний

8.1 Испытания в лабораторных условиях

8.1.1 Условия окружающей среды

Испытания и калибровку следует проводить в климатических условиях и в условиях электромагнитной обстановки, установленных в 8.1.2 и 8.1.3, с целью уменьшения влияния параметров окружающей среды на результаты испытаний.

8.1.2 Климатические условия

Испытания следует проводить в климатических условиях, при которых ИО должно эксплуатироваться.

Для испытания ЭСР воздушным разрядом климатические условия должны быть следующими:

– температура окружающей среды – 15 °С – 35 °С;

– относительная влажность – 30 % – 60 %;

– атмосферное давление – от 86,0 (860 мбар) до 106,0 кПа (1 060 мбар).

Примечание – Для оборудования, предназначенного для эксплуатации в особых климатических условиях, в технической документации могут быть установлены другие значения.

8.1.3 Электромагнитная обстановка

Электромагнитная обстановка в лаборатории должна обеспечивать нормальное функционирование ИО и не должна влиять на результаты испытаний.

8.2 Режимы работы испытуемого оборудования

Программа испытаний и программные средства должны быть составлены и подобраны так, чтобы обеспечивались все нормальные режимы работы ИО. Использование специальных программных средств допускается в тех случаях, когда необходимо проверить режимы работ ИО в полном объеме.

При проведении испытаний ИО должно работать непрерывно в наиболее чувствительном режиме (программном цикле), обеспечивающем наибольшую восприимчивость к воздействию электростатических разрядов.

Если требуется контрольная аппаратура, то она должна быть отделена от ИО, чтобы уменьшить вероятность ложных показаний.

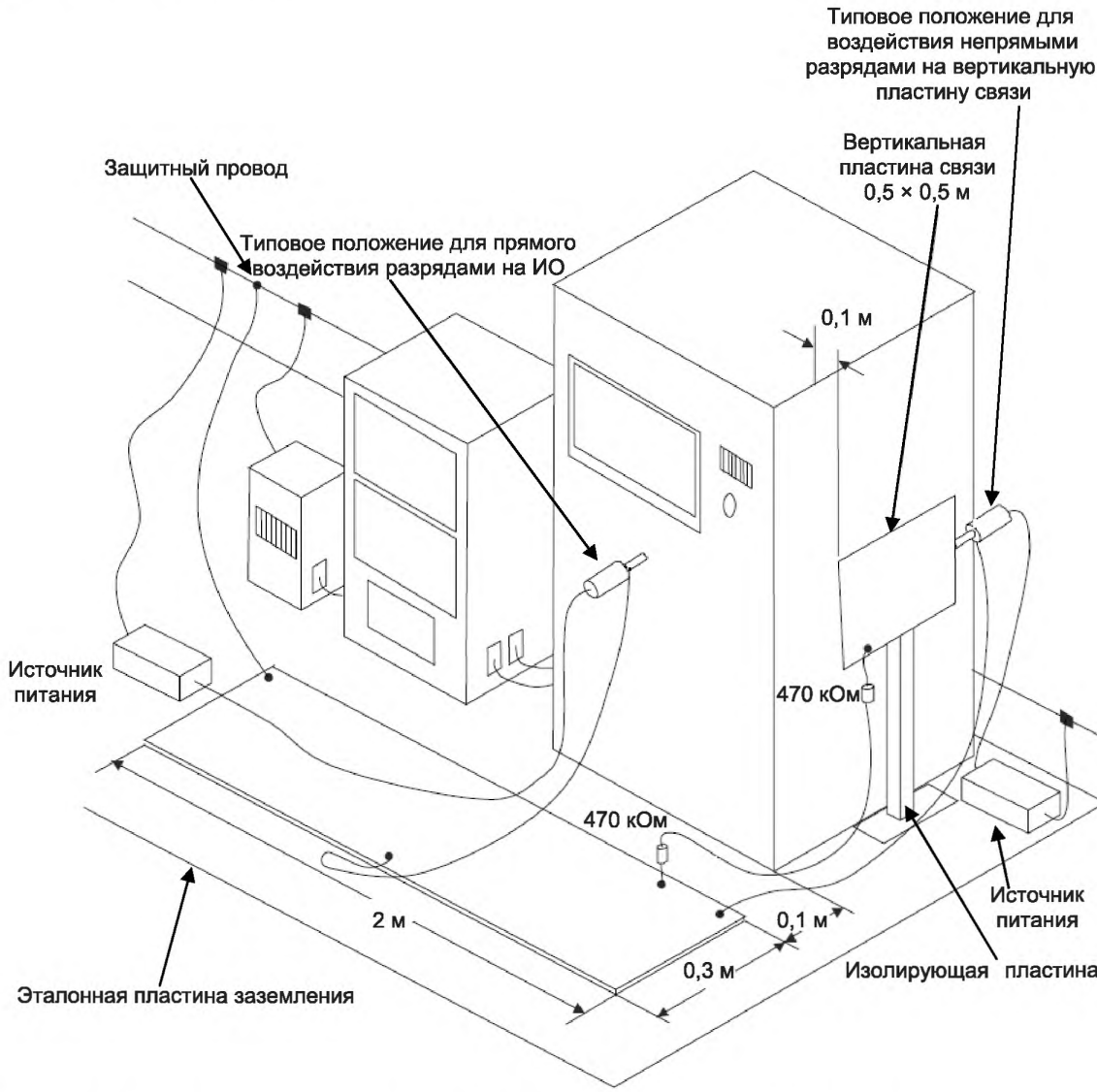


Рисунок 8 – Пример организованного места для испытаний оборудования на месте эксплуатации

8.3 Проведение испытаний

8.3.1 Разряды на испытуемое оборудование

Испытания должны быть проведены при прямом и непрямом воздействии разрядов на ИО в соответствии с программой испытаний, которая должна включать:

– типовые условия работы ИО;
– испытания ИО как настольного либо напольного;
– точки, к которым должны быть приложены разряды;
– указание о том, какой разряд должен быть приложен (контактный или воздушный) к каждой точке;
– испытательный уровень;

– количество разрядов, которое должно быть приложено к каждой точке для полного выполнения испытания;

– необходимость проведения испытаний на месте эксплуатации.

Для определения отдельных положений программы допускается проведение исследовательских испытаний.

Примечание 1 – В случае необходимости обеспечения неопределенности измерений примеры бюджета неопределенностей приведены в приложении Е.

Примечание 2 – В случае разброса в результатах испытаний в приложении F приведена шкала ЭСР для определения источников различий.

8.3.2 Прямое воздействие электростатического разряда на испытуемое оборудование

Если другое не установлено в общем стандарте, стандарте на изделие или группу изделий, то воздействию электростатического разряда должны подвергаться только те точки и поверхности ИО, которые являются доступными для персонала в течение нормальной эксплуатации. Воздействию разряда не подвергают:

a) доступные точки и поверхности только при обслуживании. В этом случае специальные процедуры ослабления ЭСР должны быть приведены в сопроводительной документации;

b) доступные точки и поверхности только при сервисном обслуживании пользователем. Примеры этих редко доступных точек следующие: выводы батарей при их замене, кассета в телефонном автоответчике и т. д.;

c) недоступные точки и поверхности оборудования, которые являются недоступными после стационарной установки или в соответствии с инструкцией по эксплуатации, например поверхность оборудования со стороны дна и/или стороны стены или область смонтированных разъемов на задней стенке;

d) контакты коаксиальных и многоштырьковых разъемов в металлической оболочке разъема. В этом случае контактные разряды должны быть применены к металлической оболочке разъема.

Контакты, находящиеся внутри разъема из непроводящего материала (например, пластмассы) и являющиеся доступными, должны быть испытаны только воздушными ЭСР. Это испытание должно быть проведено с использованием закругленного наконечника генератора ЭСР.

В общем должно быть рассмотрено шесть случаев:

Таблица 4 – Случаи воздействия ЭСР на разъемы

Случай	Оболочка разъема	Материал покрытия	Воздушный разряд на	Контактный разряд на
1	Металлическая	Нет	–	Оболочку
2	Металлическая	Непроводящий	Покрытие	Оболочку (если доступна)
3	Металлическая	Металл	–	Оболочку и покрытие
4	Непроводящая	Нет	[a]	–
5	Непроводящая	Непроводящий	Покрытие	–
6	Непроводящая	Металл	–	Покрытие
[a] Если стандарт на изделие или группу изделий требует проведения испытаний к отдельным штырькам (выводам) изолированного разъема, то в этом случае должны применяться воздушные разряды.				
Примечание – В случае, если покрытие применяется для обеспечения защиты штырьковых выводов разъема от ЭСР, то на таком покрытии или на оборудовании вблизи от такого разъема, в котором применено покрытие, должна быть маркировка с предупреждением об опасности ЭСР.				

e) контакты разъемов или других доступных частей, чувствительных к ЭСР по функциональным причинам, имеют предупреждающую маркировку, например входы для измерения, приема или других функций связи.

Пояснение: многие разъемы портов разработаны для обработки высокочастотной информации или аналоговой или цифровой и, следовательно, не могут быть достаточно обеспечены устройствами защиты от перенапряжений. В случае аналоговых сигналов может быть разрешено применение полосовых фильтров. Защитные от перенапряжения диоды имеют слишком большую паразитную емкость, чтобы быть эффективными на рабочих частотах ИО.

Во всех предыдущих случаях в сопроводительной документации должны быть приведены особые методы уменьшения ЭСР.

Окончательный испытательный уровень не должен превышать значение, указанное в документации на ИО, чтобы не допустить повреждение оборудования.

Испытание должно осуществляться одиночными ЭСР. На каждую выбранную точку должно быть произведено не менее десяти одиночных разрядов с полярностью, соответствующей наибольшей восприимчивости ИО.

Примечание 1 – Минимальное количество разрядов зависит от ИО; для оборудования с синхронизированными цепями количество разрядов должно быть больше.

Рекомендуется выбирать временной интервал между последовательными одиночными разрядами длительностью 1 с. Более длительные интервалы используются для определения того, наступит ли отказ системы.

Примечание 2 – Точки, на которые должны подаваться разряды, могут выбираться с помощью исследования, проводимого при частоте повторения 20 разрядов в секунду или более.

Наконечник разрядного электрода генератора ЭСР должен располагаться перпендикулярно к поверхности, на которую производят разряд. Это улучшает повторяемость результатов испытаний. Если невозможно расположить генератор ЭСР перпендикулярно, необходимо указать в отчете положение, в котором располагался генератор ЭСР.

Провод заземления ИГ должен располагаться на расстоянии не менее 0,2 м от ИО во время воздействия ЭСР и не должен контактировать с оператором.

При контактных ЭСР следует сначала прикоснуться наконечником разрядного электрода к ИО, а затем включить разрядный ключ.

В случае, если проводящие поверхности ИО окрашены, необходимо выполнять следующее требование: если изготовитель оборудования не указывает, что покрытие предназначено для изоляции, необходимо проколоть покрытие наконечником ИГ для осуществления контакта с проводящей поверхностью. Покрытие, указанное изготовителем как изолирующее, должно подвергаться только воздушными ЭСР. Испытания контактными ЭСР не должны проводиться на таких поверхностях.

При воздушных ЭСР круглый наконечник разрядного электрода следует по возможности быстрым движением (не вызывая механических повреждений поверхности) приблизить до прикосновения к ИО. После каждого ЭСР наконечник разрядного электрода ИГ необходимо удалять от ИО для подготовки к следующему разряду. Эта процедура должна повторяться необходимое количество раз. При испытаниях на воздушный ЭСР разрядный ключ, который используется для контактного ЭСР, должен быть постоянно замкнут.

8.3.3 Непрямое воздействие разрядом

8.3.3.1 Разряд на объекты вблизи испытуемого оборудования

Разряды на объекты, расположенные или установленные вблизи ИО, имитируют подачей разрядов от генератора ЭСР на пластины связи по методу контактного разряда.

В дополнение к испытаниям, описанным в 8.3.2, должны выполняться требования, установленные в 8.3.3.2 и 8.3.3.3.

8.3.3.2 Горизонтальная пластина связи под испытуемое оборудование

Разряд на горизонтальную пластину связи должен быть произведен горизонтально к ребру горизонтальной пластины связи.

Не менее десяти одиночных разрядов (с полярностью, к которой ИО наиболее чувствительно) должны быть поданы к каждому переднему фронту ребра горизонтальной пластины связи напротив центра каждого блока ИО (если применяется) на расстоянии 0,1 м от передней части ИО. В течение разряда наконечник разрядного электрода генератора ЭСР должен быть в плоскости горизонтальной пластины связи и располагаться перпендикулярно к ее переднему фронту.

Наконечник разрядного электрода должен касаться ребра горизонтальной пластины связи до включения разрядного ключа (см. рисунок 4).

В стандартах на изделие могут быть установлены требования, согласно которым испытания необходимо проводить со всех сторон ИО.

8.3.3.3 Вертикальная пластина связи

Не менее десяти одиночных разрядов (с полярностью, к которой ИО наиболее чувствительно) должны быть поданы на центр одного вертикального ребра пластины связи (см. рисунки 4 и 5). Пластина связи размерами 0,5 × 0,5 м устанавливается параллельно ИО и располагается на расстоянии 0,1 м от ИО.

Разряды должны подаваться на пластину связи при ее размещении против каждой из четырех сторон ИО. Положение вертикальной пластины связи должно покрывать площадь 0,5 × 0,5 м поверхности ИО.

9 Оценка результатов испытаний

Результаты испытаний должны классифицироваться с точки зрения прекращения выполнения функции или ухудшения производительности ИО относительно уровня, установленного изготовителем или заказчиком испытаний либо согласованного между изготовителем и покупателем изделия. Рекомендуется следующая классификация:

a) нормальное функционирование в пределах норм, установленных изготовителем, заявителем или потребителем;

b) временное снижение качества функционирования либо прекращение функционирования, которое восстанавливается после прекращения воздействия помехи и не требует вмешательства оператора;

c) временное снижение качества функционирования либо прекращение функционирования, восстановление которого требует вмешательства оператора;

d) снижение качества функционирования либо прекращение функционирования, которое не может быть восстановлено из-за повреждения компонентов оборудования, программного обеспечения или потери данных.

В технической документации на ИО могут быть установлены нарушения функционирования ИО при воздействии помех, которые рассматриваются как незначительные и допустимые.

Эта классификация может использоваться в качестве руководства при определении критериев качества функционирования оборудования техническими комитетами, ответственными за общие стандарты, стандарты на изделие или группу изделий, или как основа для согласования критериев качества функционирования между изготовителем и покупателем изделия, на которое отсутствует общий стандарт, стандарт на изделие или группу изделий.

10 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен содержать всю информацию, необходимую для воспроизведения испытаний, в частности должно быть указано следующее:

– пункты, приведенные в программе испытаний в соответствии с разделом 8;

– идентификация ИО и любого подключаемого оборудования, например торговая марка, тип изделия, серийный номер;

– идентификация ИО, используемого при испытаниях, например торговая марка, тип оборудования, серийный номер;

– любые особые условия окружающей среды, в которой было проведено испытание, например применение экранированного помещения;

– любые особые условия, которые необходимо соблюсти при проведении испытаний;

– испытательный уровень, установленный изготовителем, заказчиком или покупателем;

– критерий качества функционирования, установленный в общем стандарте, стандарте на изделие или группу изделий;

– любые воздействия на ИО, зафиксированные во время или после применения испытательной помехи, а также продолжительность этих воздействий;

– критерий определения результата испытания (основанный на критерии качества функционирования, установленном в общем стандарте, стандарте на изделие или группу изделий, или являющийся предметом соглашения между изготовителем и покупателем);

– любые особые условия использования, например длина или тип кабеля, экранирование, или заземление, или эксплуатационный режим испытательного оборудования, соблюдение которых требуется для достижения соответствия.

– климатические условия;

– рисунок и/или фотографии организованного места для испытаний и расположения ИО.

Приложение А
(справочное)

Пояснения

А.1 Общие положения

Защита оборудования от ЭСР имеет большое значение для изготовителей и потребителей.

Широкое использование микроэлектронных компонентов усиливает необходимость исследования различных проблем надежности изделий и систем, а также поиска путей повышения их надежности.

Проблема накопления статического электричества и последующих разрядов становится особенно актуальной для неконтролируемых условий окружающей среды и применения различного оборудования и систем в широком диапазоне промышленных предприятий.

Оборудование также может быть подвержено воздействию электромагнитного поля, когда возникают разряды от обслуживающего персонала на близлежащие предметы. Кроме того, разряды могут возникнуть между металлическими предметами, такими, например, как стулья и столы, находящиеся вблизи от оборудования. Основываясь на накопленном опыте, можно считать, что испытания, описанные в настоящем стандарте, достаточно точно моделируют эффекты от воздействия описанных явлений.

Электростатические разряды от оператора могут привести к сбоям оборудования или повреждению электронных компонентов в зависимости от параметров импульса разрядного тока (время нарастания, длительность и т. д.).

Важность проблемы и необходимость разработки защитных мер, помогающих предотвратить нежелательные последствия из-за разряда статического электричества на оборудование, потребовали разработки стандартизованных методов испытаний, описанных в настоящем стандарте.

А.2 Влияние условий окружающей среды на уровни заряда

Возникновению электростатических зарядов в наибольшей степени способствуют использование синтетических покрытий и низкая относительная влажность воздуха в помещениях. Есть много возможных разновидностей технологий заряда. Типичная ситуация, когда оператор идет по ковру и с каждым шагом между его телом и покрытием происходит либо отдача, либо прием электронов. Трение между одеждой и стулом оператора может вызывать накопление электростатических зарядов. Оператор может заряжаться непосредственно или при помощи электростатической индукции, в последнем случае проводящий коврик не обеспечит защиты до тех пор, пока оператор не будет заземлен на него соответствующим образом.

Значения напряжения, до которого могут быть заряжены различные ткани в зависимости от относительной влажности воздуха, приведены на рисунке А.1.

Оборудование может подвергаться воздействию разрядов величиной до нескольких киловольт в зависимости от типа синтетической ткани и относительной влажности окружающего воздуха.

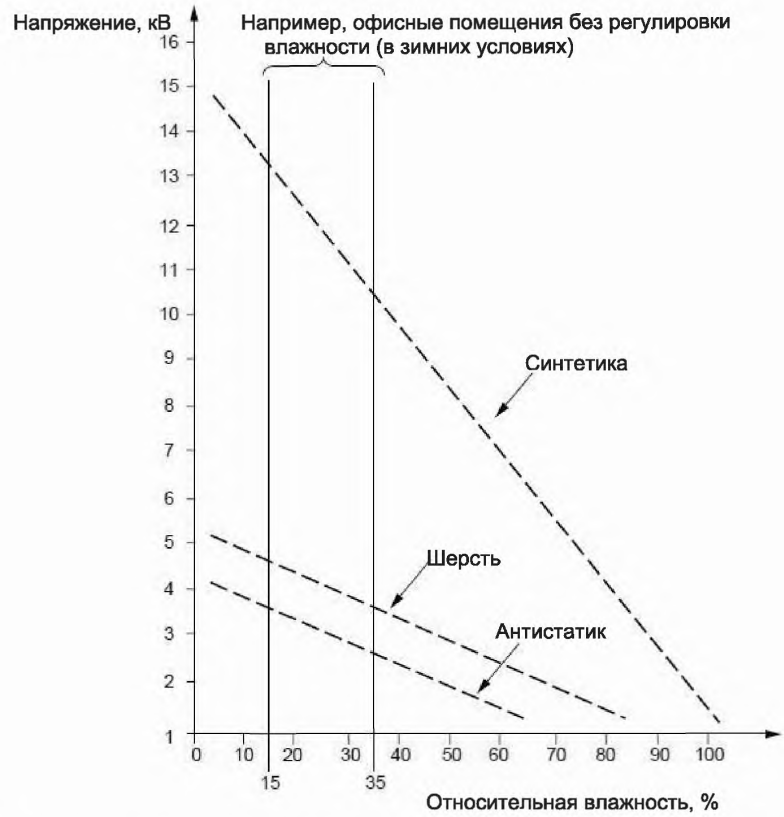


Рисунок А.1 – Максимальные значения электростатических напряжений, до которых могут быть заряжены операторы при контакте с материалами, упомянутыми в разделе А.2

А.3 Влияние окружающей среды на ток разряда

Для определения требований помехоустойчивости в качестве основного параметра применяются уровни электростатического напряжения, устанавливаемые в соответствии с условиями окружающей среды у потребителя. Однако установлено, что перенос энергии больше зависит от тока разряда, чем от электростатического напряжения, вызывающего разряд. Также установлено, что пропорциональность тока разряда нарушается по отношению к напряжению перед разрядом на более высоких уровнях напряжения.

Возможные причины непропорциональной зависимости между напряжением перед разрядом и током разряда:

– разряд высоковольтных зарядов типично происходит посредством образования дуги, которая увеличивает время нарастания и, следовательно, содержит более высокие спектральные компоненты тока разряда, меньшие, чем пропорциональное напряжение перед разрядом;

– высокие уровни зарядного напряжения с большой вероятностью будут создаваться на малой емкости, допуская, что величина заряда должна быть постоянной для типичного случая формирования заряда. Наоборот, высокие зарядные напряжения на большой емкости потребуют ряда последовательных разрядов, которые могут происходить с малой вероятностью. Это означает, что энергия заряда имеет тенденцию становиться постоянной между более высокими зарядными напряжениями, обнаруженными в среде, окружающей пользователя.

Исходя из вышеизложенного, требования помехоустойчивости для окружающей среды у потребителя должны быть определены в значениях амплитуды тока разряда.

Использование этой концепции облегчает проектирование испытательного устройства. Компромисс в выборе зарядного напряжения испытательного устройства и разрядного сопротивления позволяет обеспечить требуемые амплитуды разрядного тока.

А.4 Выбор испытательных уровней

Испытательные уровни, выбираемые в соответствии с типовым размещением и условиями окружающей среды, приведены в таблице А.1.

Таблица А.1 – Руководство по выбору испытательных уровней

Испытательный уровень	Относительная влажность, не более, %	Антистатический материал	Синтетический материал	Максимальное напряжение, кВ
1	35	×		2
2	10	×		4
3	50		×	8
4	10		×	15

Рекомендуемые классы размещения и окружающей среды соответствуют испытательным уровням, указанным в разделе 5 настоящего стандарта.

Для некоторых материалов, например дерева, бетона и керамики, вероятный уровень должен быть не выше испытательного уровня 2.

При выборе испытательного уровня для конкретной обстановки необходимо учитывать воздействия наиболее критических параметров ЭСР.

Наиболее критическим параметром из возможных является скорость изменения разрядного тока, которая может быть получена при различных комбинациях зарядного напряжения, пикового разрядного тока и времени нарастания.

Например, необходимое воздействие ЭСР 15 кВ для окружения из синтетического материала более чем достаточно перекрывается испытательным уровнем 4 (8 кВ/30 А) при использовании контактного разряда генератора ЭСР в соответствии с настоящим стандартом.

Вместе с тем при очень низкой влажности среды и применении синтетических материалов возникают высокие напряжения более 15 кВ.

В случае испытаний оборудования с изолирующими поверхностями можно использовать метод воздушного разряда при напряжении до 15 кВ.

А.5 Выбор точек воздействия электростатического разряда

Испытательными точками для воздействия разрядами могут быть:

– точки на металлических частях корпуса, которые электрически изолированы от земли;

– любая точка на панели управления или на клавиатуре и любые другие точки связи «человек – машина», такие как переключатели, рукоятки, кнопки, индикаторы, светодиоды, щели, решетки, корпуса соединителей и другие доступные для оператора места.

А.6 Техническое обоснование использования метода контактного разряда

Результаты испытаний методом воздушного разряда зависят, например, от скорости приближения разрядного наконечника, влажности и конструкции генератора ЭСР, приводящих к изменениям времени нарастания импульса и величины тока разряда.

В приведенных выше конструкциях испытательного оборудования ЭСР электростатический разряд моделировался посредством разряда заряженного конденсатора через разрядный наконечник на ИО, при этом разрядный наконечник через зазор создает искру на поверхности ИО.

Искровой разряд – очень сложное физическое явление. Было установлено, что при изменяющемся до возникновения искрового разряда зазоре результирующее время нарастания (или нарастающий фронт) тока разряда может меняться от менее 1 до 20 нс и более по мере изменения скорости приближения.

Сохранение постоянной скорости сближения не является следствием постоянной времени нарастания. Для некоторых комбинаций «напряжение/скорость» время нарастания может изменяться с коэффициентом до 30.

Примечание – Для высоких напряжений воздушный разряд может произойти как множественный разряд.

Переключающим устройством, известным к настоящему времени, которое в состоянии стабильно производить быстро нарастающие разрядные токи, является реле. Реле должно иметь соответствующую величину по напряжению и обеспечивать одиночный контакт (чтобы избежать двойных разрядов на фронте нарастания). Для более высоких напряжений предпочтительными являются вакуумные реле. Опыт показывает, что с использованием реле в качестве переключающего элемента не только форма измеряемого разрядного импульса намного более стабильна в своей нарастающей части, но также и результаты испытаний реальных ИО более повторяемы.

Следовательно, генератор ЭСР, управляемый реле, является устройством, которое вырабатывает требуемый импульс тока (амплитуда и время нарастания).

Этот ток соотносится с реальным напряжением ЭСР, как описано в разделе А.3.

А.7 Выбор элементов генератора электростатических разрядов

Для воспроизведения емкости тела человека необходимо использовать накопительную емкость. Для этой цели подходящей емкостью является конденсатор с номинальным значением 150 пФ.

Для имитации сопротивления человека, держащего металлический предмет, такой как, например, ключ или инструмент, должно быть использовано сопротивление 330 Ом. Установлено, что такая ситуация разряда металла в полной мере иллюстрирует все разряды от человека.

А.8 Обоснование параметров генератора

Был выявлен ряд причин, из-за которых воспроизводимость результатов на устойчивость к ЭСР различается применительно к одному и тому же ИО. Организованное место для испытаний, результаты калибровки и т. д. рассмотрены и включены в настоящий стандарт.

Изменения параметров генератора ЭСР также рассмотрены, но никаких изменений в настоящий стандарт не внесено. Далее идет общее обоснование такого решения.

Две потенциальные технические причины, относящиеся к параметрам генератора, которые рассматривались в рамках проблемы воспроизводимости результатов:

– форма импульса тока разряда генератора после первого пика, т. е. между 2 и 60 нс;

– излучаемое генератором электромагнитное поле во время разряда на ИО.

Первая причина была связана с техническим обслуживанием, и допустимое отклонение ±35 % от идеальной формы импульса, показанной на рисунке 2, установлено между 2 и 60 нс. Во время разработки настоящего стандарта это потенциальное изменение относительно параметров тока разряда было впоследствии скорректировано, для того чтобы контролировать время спада первого пика в (2,5 ± 1) нс при 60 % от основного пика.

Были проведены круговые сличительные испытания на различных ИО в трех различных лабораториях с двумя типами генераторов. Первый тип генераторов соответствовал требованиям IEC 61000-4-2 (редакция 1), второй тип – с дополнительными требованиями, обозначенными выше. Пять различных генераторов каждого типа были предоставлены пятью различными изготовителями для этих целей.

Общие результаты круговых сличительных испытаний модифицированного генератора ЭСР:

– были различия в испытательных уровнях, при которых ИО реагировало на различные генераторы ЭСР;

– появилось изменение формы импульса разряда для корректировки формы тока разряда в частотной и временной областях;

– однако новая форма импульса не привела к значительным улучшениям в воспроизводимости результатов испытаний.

Что касается второй причины, необходимые дополнительные круговые сличительные испытания не установили, что этот параметр влияет на проблему воспроизводимости результатов. Необходимо провести серьезное техническое исследование для определения влияния излучаемых полей на конкретное ИО и понять, как контролировать соответствующие параметры, влияющие на воспроизводимость результатов.

Было решено, что изменения, включенные в настоящий стандарт, улучшат воспроизводимость испытаний. Дальнейшие исследования могут быть предложены для следующих изданий настоящего стандарта в оценке влияния излучения электрического поля на воспроизводимость.

Приложение В
(обязательное)

Калибровка системы измерения тока и измерение тока разряда

В.1 Параметры датчика тока – входное сопротивление

Коаксиальный датчик тока, используемый для измерения тока разряда генератора ЭСР, должен иметь входное сопротивление, измеренное между внутренним электродом и землей, не более 2,1 Ом по постоянному току.

Примечание 1 – Датчик предполагает измерение тока разряда на идеальную эталонную пластину заземления. Для уменьшения погрешности, связанной с различием между идеально проводящей пластиной и входным сопротивлением датчика, был установлен предел в 2,1 Ом для входного сопротивления. Но если входное сопротивление датчика слишком низкое, выходной сигнал будет очень маленьким, что может привести к ошибкам из-за соединений кабелей и осциллографа. Более того, если выбрано слишком низкое сопротивление, то большее влияние оказывает паразитная индукция.

Примечание 2 – Входное сопротивление и передаточное полное сопротивление (Z_{sys}, раздел В.3) может быть измерено с высокой точностью при постоянном токе или при низких частотах.

В.2 Параметры датчика тока – вносимые потери

В.2.1 Измерительная цепь

Вместо определения вносимых потерь коаксиального датчика тока определяются вносимые потери измерительной цепи, состоящей из датчика, аттенюатора и кабеля. Это упрощает оценку измерительной системы, так как вместо каждого элемента в отдельности оценивается только эта цепь и осциллограф.

Неравномерность вносимых потерь цепи «датчик – аттенюатор – кабель» должна быть не более:

– ±0,5 дБ в диапазоне частот до 1 ГГц;

– ±1,2 дБ в диапазоне частот от 1 до 4 ГГц.

Касательно номинального значения S_{21} вносимых потерь:

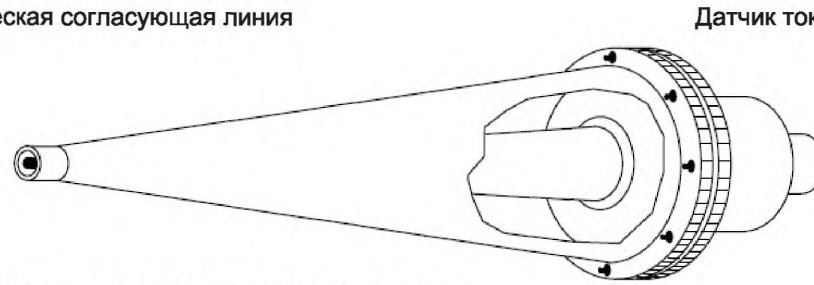
$S_{21} = 20\log [2Z_{sys} / (R_{in} + 50 \text{ Ом})]$ дБ, где R_{in} – входное сопротивление по постоянному току цепи «датчик – аттенюатор – кабель», нагруженной на нагрузку 50 Ом.

Примечание 1 – Могут быть использованы различные калибровочные временные интервалы для передаточного полного сопротивления и для более детального измерения вносимых потерь. Если результаты повторного измерения передаточного полного сопротивления не отличаются от оригинального более чем на 1 %, можно допустить, что вносимые потери цепи «датчик – аттенюатор – кабель» не изменились при условии, что используются те же самые кабель и аттенюатор и нет внешних признаков изменения (например, незакрепленные или поврежденные соединители).

Примечание 2 – Цепь «датчик – аттенюатор – кабель» должна восприниматься как единый объект. Как только один элемент заменяется или даже будет отсоединен и присоединен повторно, всю цепь необходимо калибровать повторно, чтобы гарантировать соответствие параметров.

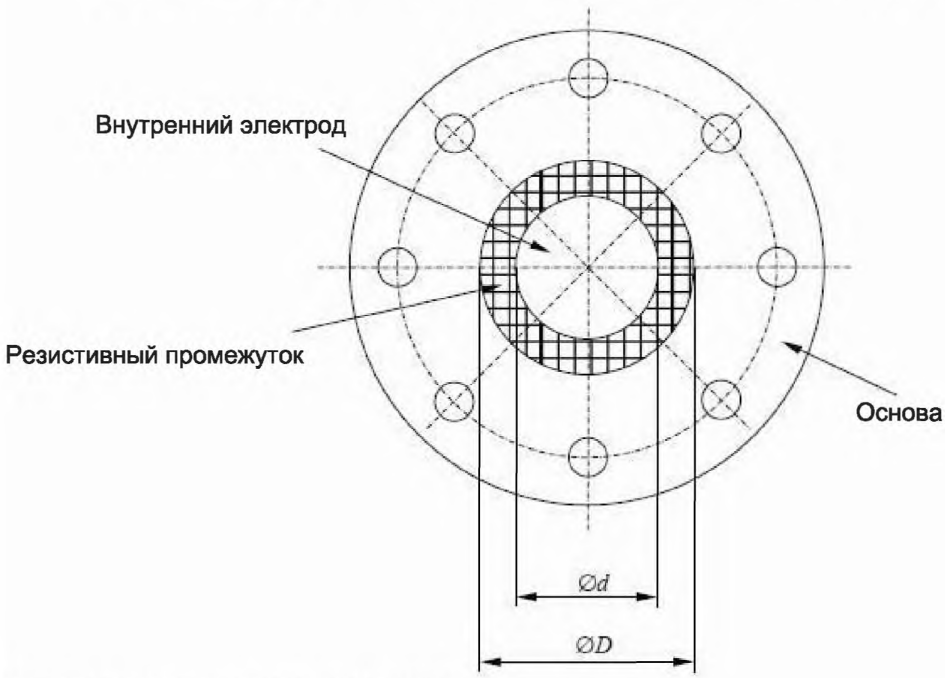
В.2.2 Согласующая линия датчика

Согласующая линия датчика (показана на рисунке В.1) соединяет коаксиальный кабель сопротивлением 50 Ом с входом датчика тока ЭСР. Геометрически она плавно переходит от диаметра коаксиального кабеля к диаметру датчика. Если датчик сделан так, что сопротивление, измеренное от диаметра d до диаметра D (см. рисунок В.2), не равно 50 Ом, то согласующая линия датчика должна быть сделана так, чтобы внешний диаметр ее внутреннего проводника был эквивалентен диаметру внутреннего электрода датчика тока. Сопротивление должно быть измерено с учетом диэлектрической константы материала, заполняющего коническую согласующую линию (обычно воздух). Согласующая линия датчика должна сохранять сопротивление (50 ± 1) Ом в полосе пропускания 4 ГГц. Обратное затухание двух согласующих линий датчика, расположенных друг напротив друга, должно быть не более 30 дБ в диапазоне частот до 1 ГГц и не более 20 дБ в диапазоне частот до 4 ГГц с общими вносимыми затуханиями менее 0,3 дБ в диапазоне частот до 4 ГГц.



Примечание – Допустимы формы, отличные от конической.

Рисунок В.1 – Пример согласующей линии датчика, присоединенной к датчику тока



Ød – внешний диаметр внутреннего электрода;
ØD – внутренний диаметр основной конструкции

Рисунок В.2 – Пример передней части датчика тока

В.2.3 Определение вносимых потерь цепи «датчик – аттенюатор – кабель»

Вносимые потери цепи определяются векторным анализатором цепей. Могут также использоваться другие системы для измерения величины вносимых потерь при условии соблюдения достаточной точности измерений.

Измерительная процедура для вносимых потерь следующая:

– Откалибровать векторный анализатор цепей в калибровочных точках, показанных на рисунке В.3 (между аттенюатором и датчиком и между аттенюатором и согласующей линией датчика).

Примечание 1 – Если векторный анализатор цепей не используется, то процедура должна быть соответственно изменена.

Примечание 2 – Вместо постоянного тока нужно использовать низшую частоту анализатора цепей. Параметры при постоянном токе измеряются отдельно.

Примечание 3 – Стабильность центрального контакта двух согласующих линий или согласующей линии и датчика должна подтверждаться несколькими измерениями, отключая и переподключая устройства под разными углами.

– Присоединить согласующую линию к цепи «датчик – аттенюатор (≥ 20 дБ) – кабель» и вставить ее, как показано на рисунке В.3.

– Измерить вносимые потери.

Отклонение вносимых потерь должно соответствовать требованиям раздела В.2.

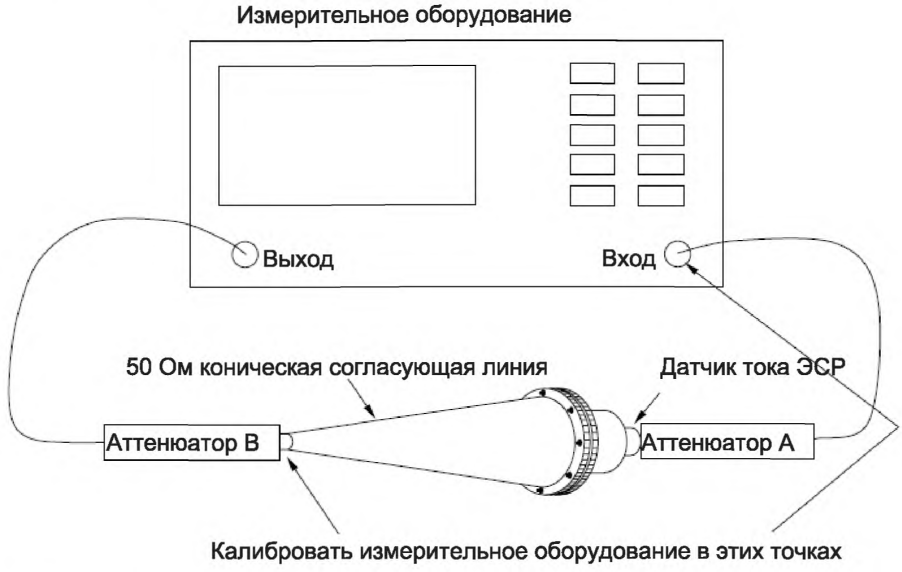


Рисунок В.3 – Пример измерения вносимых затуханий цепи «датчик – аттенюатор – кабель»

В.3 Определение низкочастотного передаточного полного сопротивления цепи «датчик – аттенюатор – кабель»

Низкочастотное передаточное полное сопротивление цепи «датчик – аттенюатор – кабель» определяется как отношение инжектированного тока на вход датчика и напряжения на точной нагрузке 50 Ом на выходе кабеля (т. е. которая находится на конце кабеля вместо осциллографа).

При измерениях ЭСР осциллограф показывает напряжение V_{osc}, если ток I_{sys} инжектирован в датчик. Для определения неизвестного тока с помощью показанного напряжения напряжение делится на низкочастотное передаточное полное сопротивление Z_{sys}.

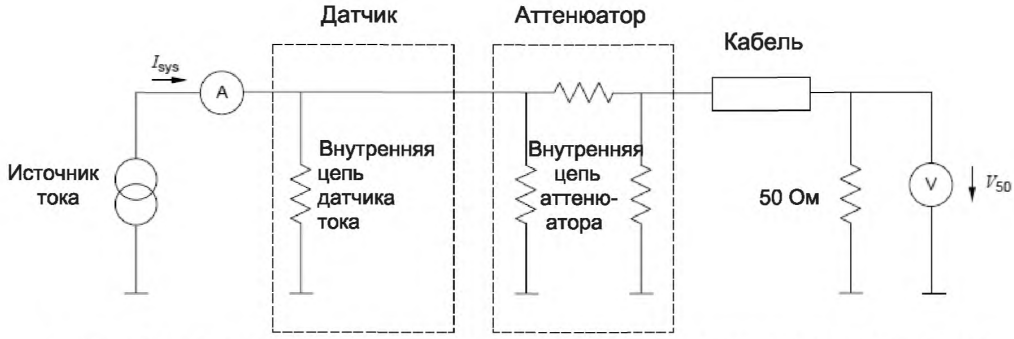


Рисунок В.4 – Схема для определения низкочастотного передаточного полного сопротивления

Примечание 1 – Внутренняя цепь датчика приведена как пример. Допускаются другие внутренние цепи.

Низкочастотное передаточное полное сопротивление цепи датчик-аттенюатор-кабель может быть определено:

– Инжектированием тока I_{sys}, приблизительно равного 1 А, в переднюю часть датчика тока. Передняя часть – часть, на которую производятся разряды.

– Z_{sys} – ключевое значение для калибровки генератора. Нагрузка 50 Ом должна иметь отклонение максимум ±1 %.

– Измерением напряжения V_{50} на точной нагрузке 50 Ом.

– Расчетом передаточного полного сопротивления:

$$Z_{sys} = \frac{V_{50}}{I_{sys}}.$$

Примечание 2 – Чтобы убедиться, что термические напряжения не влияют на результат, измерение может быть проведено с положительным и отрицательным током. Оба результата не должны отличаться друг от друга не более чем на 0,5 %.

Могут использоваться и другие методы измерения передаточных характеристик всей цепи «датчик – аттенюатор – кабель».

В.4 Калибровка генератора электростатических разрядов

В.4.1 Результаты калибровки

Сопоставимые результаты калибровки оценки ЭСР очень важны. Особенно в случае, когда испытания проводятся с использованием генераторов ЭСР различных изготовителей или когда испытание ожидается проводить длительное время. Важно, чтобы повторяемость была главным фактором при оценке. Генератор ЭСР должен быть откалиброван в определенно установленные промежутки времени в соответствии с признанной системой контроля качества.

Примечание – Процесс в этом приложении рассматривается для целей калибровки. Различные процедуры для верификации генератора перед испытаниями рассмотрены в 6.3.

Калибровка генератора ЭСР должна проводиться к климатических условиях, установленных в 8.1.2.

В.4.2 Необходимое испытательное оборудование для калибровки генератора электростатических разрядов

Необходимо следующее испытательное оборудование для калибровки генератора ЭСР:

– осциллограф с достаточной полосой пропускания (аналоговая полоса частот ≥ 2 ГГц);

– коаксиальная цепь «датчик – аттенюатор – кабель»;

– высоковольтный измеритель, способный измерять напряжения как минимум до 15 кВ. Может возникнуть необходимость использовать электростатический вольтметр для исключения нагрузки выходного напряжения;

– вертикальная калибровочная пластина с коаксиальным датчиком тока, монтированным таким образом, чтобы расстояние от датчика до любого края пластины было не менее 0,6 м;

– аттенюаторы с достаточной допустимой мощностью, которая требуется.

Примечание – Пример подходящего коаксиального датчика тока приведен в приложении С.

B.4.3 Процедура калибровки генератора для режима контактного разряда

Датчик тока должен быть установлен в центре вертикальной калибровочной пластины в соответствии с требованиями B.4.2. Соединение кабеля обратного тока генератора ЭСР (шина заземления) должно быть расположено внизу в центре пластины на расстоянии 0,5 м ниже датчика. Шина заземления должна быть вытянута назад в центре кабеля, образуя равнобедренный треугольник. Не допускается, чтобы шина заземления лежала на полу во время калибровки.

Необходимо следовать процедуре, приведенной ниже, для того чтобы убедиться, соответствует ли параметрам форма тока генератора ЭСР. Снять изображение формы кривой и измерить следующие параметры:

I_p – пиковое значение тока разряда (А);

I_{30} – значение тока через 30 нс после того, как ток достигнет значения 10 % от I_p;

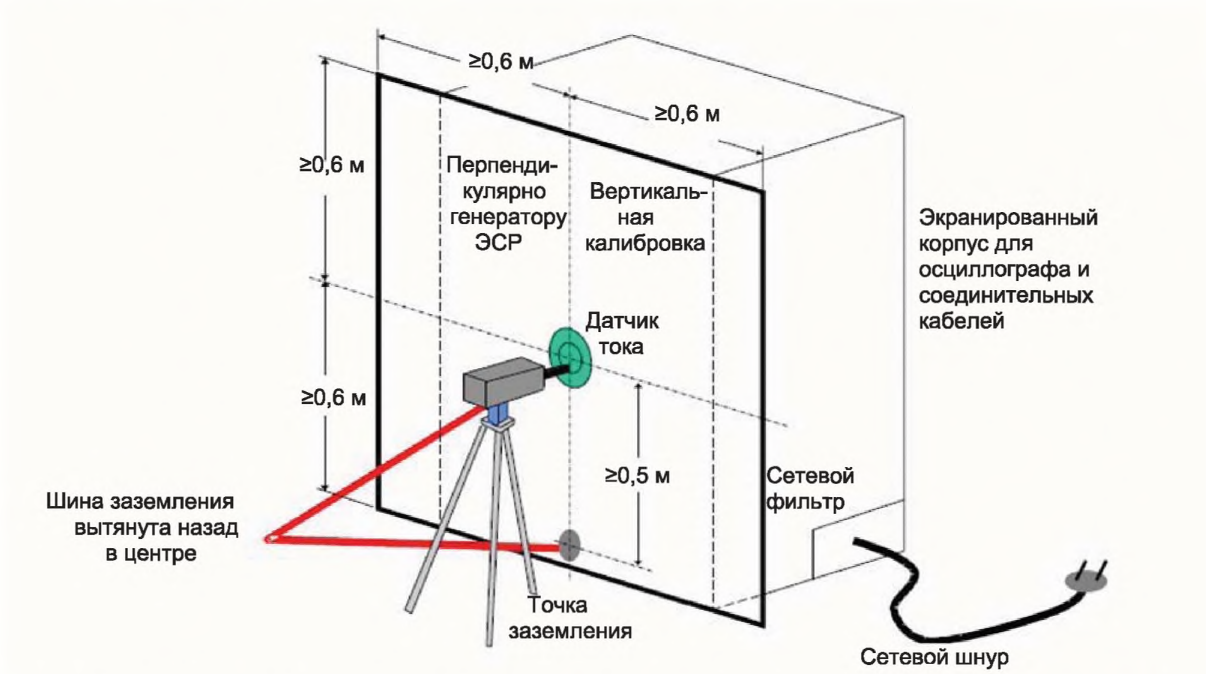
I_{60} – значение тока через 60 нс после того, как ток достигнет значения 10 % от I_p;

t_r – время нарастания тока, нс.

Таблица B.1 – Процедура калибровки при контактном разряде

Шаг	Пояснение
Разрядить генератор ЭСР на каждом испытательном уровне, как определено в таблице 1, пять раз в обеих полярностях. Сохранить каждый результат.	Характеристики должны быть определены для всех пяти разрядов
Измерить I_p, I_{30}, I_{60}, t_r для каждой формы тока	Параметры должны быть проверены для каждого испытательного уровня
Ток через 30 нс. Проверить, соответствует ли: I_{30} = 2 А ± 30 %	Параметры должны быть проверены для каждого испытательного уровня [a)]
Ток через 60 нс. Проверить, соответствует ли: I_{60} = 1 А ± 30 %	Параметры должны быть проверены для каждого испытательного уровня [a)]
Пиковый ток. Проверить, соответствует ли: I_p = 3,75 А ± 15 %	Параметры должны быть проверены для каждого испытательного уровня [a)]
Время нарастания. Проверить, соответствует ли: t_r = 0,8 нс ± 25 %	Параметры должны быть проверены для каждого испытательного уровня

[a)] Значение тока в этой таблице дано в соответствии с испытательным уровнем 1 кВ. Эти измеренные значения изменяются пропорционально испытательному напряжению генератора.



Примечание 1 – Генератор должен быть установлен на треногу или аналогичную неметаллическую подставку.
Примечание 2 – Генератор должен питаться таким же способом, как и при испытаниях.
Примечание 3 – Также может быть использовано обратное подключение в соответствии с рисунком В.5.

Рисунок В.5 – Типичное расположение для калибровки генератора электростатических разрядов

Экранировка осциллографа не является необходимой, если может быть доказано измерениями, что обратная цепь связи на измерительной системе не влияет на результаты калибровки.

Система калибровки может быть признана достаточно устойчивой (т. е. камера Фарадея не является необходимой), если осциллограф не реагирует при:

– пороге срабатывания осциллографа, установленного ≤ 10 % от наименьшего испытательного уровня;

– разрядке генератора ЭСР при самом высоком испытательном уровне на внешнее кольцо датчика (вместо внутреннего кольца).

Приложение С
(справочное)

Пример калибровки датчика в соответствии с приложением В

На рисунках С.1 – С.5 приведены конструктивные детали датчика, который соответствует требованиям приложения В. Этот датчик разработан для обеспечения ровной характеристики затухания в случае использования кабеля RG 400 длиной 1 м. Рекомендуется присоединять аттенюатор на 20 дБ или более прямо на выход датчика, чтобы избежать множественные отражения.

Примечание – Рисунки С.1 – С.5 приведены в качестве примера, поэтому допускаются изменения.

Размеры в миллиметрах

Центральная медная или латунная часть – приблизительно 1 : 1

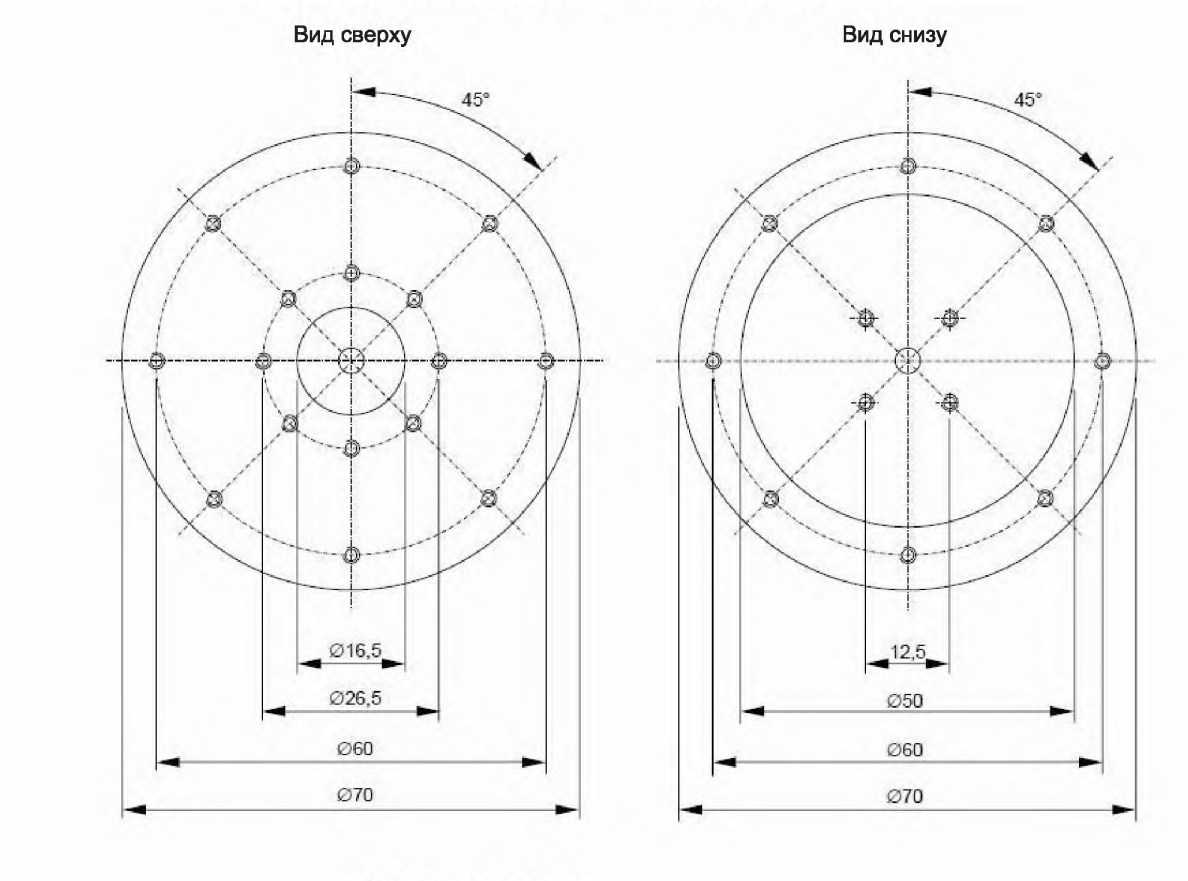
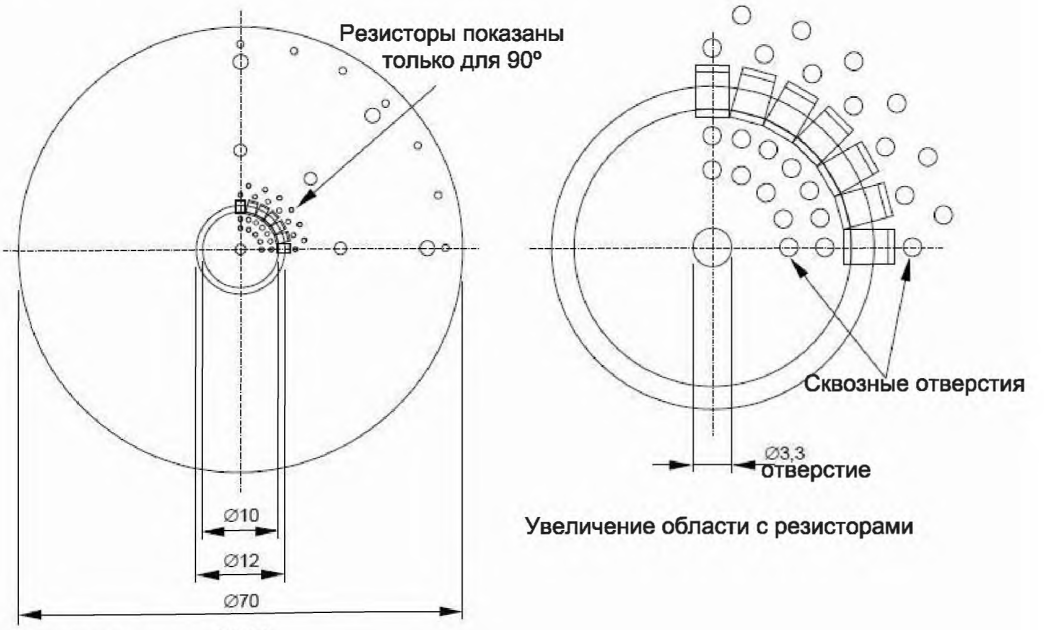


Рисунок С.1 – Сборочный чертеж коаксиального датчика (рисунок 1 из 5)

Размеры в миллиметрах

Печатная плата

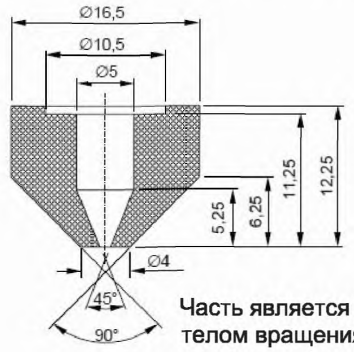


Размер резисторов	–	0805;
Номинал	–	51 Ом;
Монтаж	–	точечный, строго симметрично (использовать шаблон);
Материал	–	0,5 мм FR-4, покрытый золотом;
Отверстия	–	два кольца отверстий на каждой стороне резисторов плюс одно кольцо близко к внешней стороне печатной платы. Необходимо приблизительно 25 резисторов

Рисунок С.2 – Сборочный чертеж коаксиального датчика (рисунок 2 из 5)

Размеры в миллиметрах

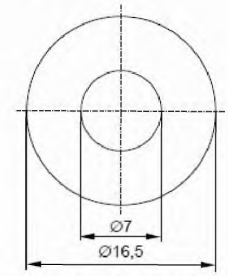
PTFE (часть 1) – приблизительно 2 : 1



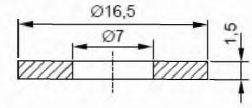
Часть является телом вращения

ПТФЭ (часть 2) – приблизительно 2 : 1

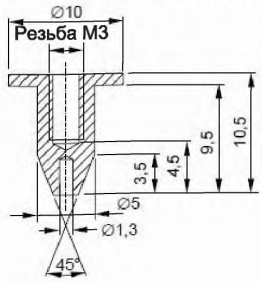
Вид сверху



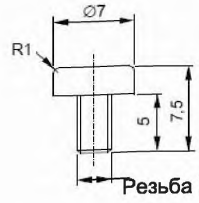
Вид сбоку в разрезе



Центральный медный или латунный проводник – приблизительно 2 : 1

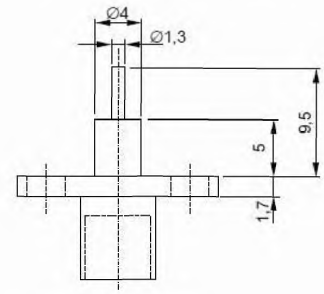


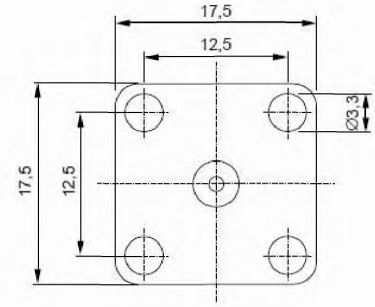
Верхняя часть центрального проводника, нержавеющая сталь – приблизительно 2 : 1



Часть является телом вращения

Разъем типа SMA – приблизительно 2 : 1





Может быть использован аналогичный соединитель типа N

Рисунок С.3 – Сборочный чертеж коаксиального датчика (рисунок 3 из 5)

Размеры в миллиметрах

Покрытие: нержавеющая сталь – приблизительно 1 : 1

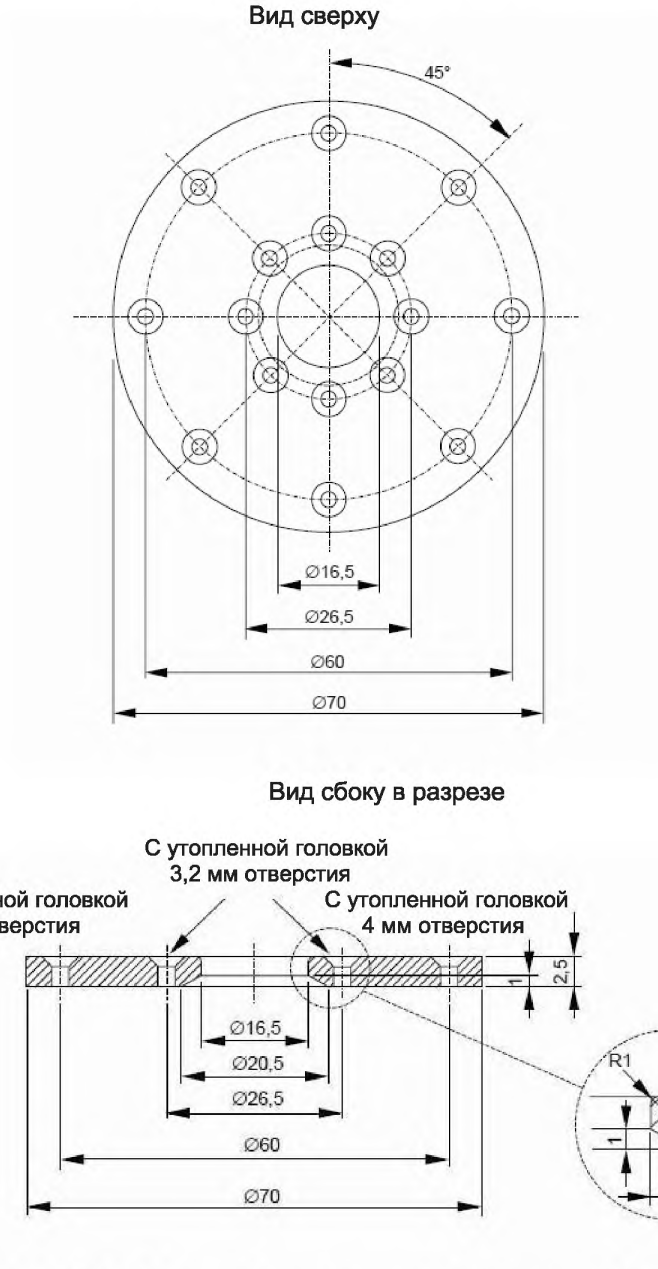


Рисунок С.4 – Сборочный чертеж коаксиального датчика (рисунок 4 из 5)

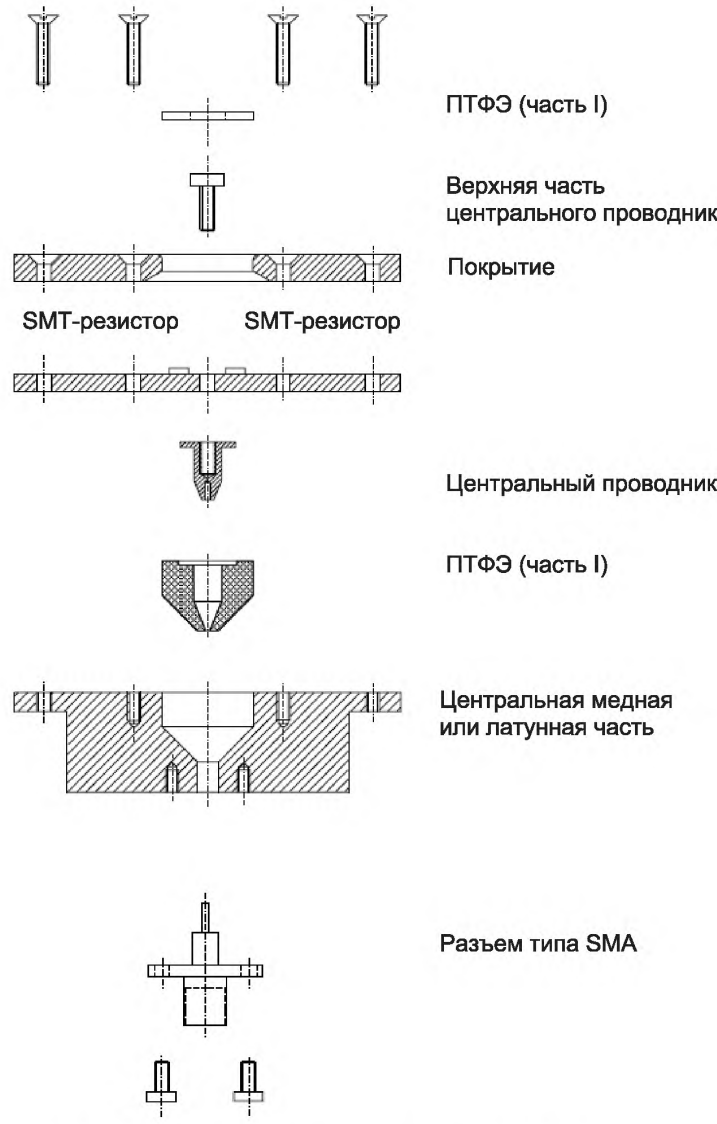


Рисунок С.5 – Сборочный чертеж коаксиального датчика (рисунок 5 из 5)

Приложение D
(справочное)

Излучаемые поля от разрядов человека на металл и генераторов электростатических разрядов

D.1 Обзор процессов, являющихся причинами возникновения искусственных и случайных полей

D.1.1 Общие положения

Электростатический разряд от человека (через небольшую металлическую часть, находящуюся в руках) является основополагающим фактором для формы тока, указанной в настоящем стандарте и в предыдущих частях. Такой разряд от человека, так же как и разряд генератора ЭСР, является причиной возникновения связанного с ним сильного электромагнитного поля.

Следующие подразделы описывают процесс разряда от человека, а потом рассматривается процесс, который происходит с применением генератора ЭСР.

D.1.2 Электростатический разряд от человека

При ЭСР от человека на ИО происходит следующая цепочка событий.

a) Когда находящаяся в руках металлическая часть приближается к металлической поверхности ИО, еще до разряда возникает электростатическое поле. Тока нет (или ток очень небольшой), и не возникает существенного магнитного поля.

b) Как только возникает разряд между находящейся в руках металлической частью и ИО, электростатическое поле в зазоре между ними исчезает. С начального момента оно переходит через зазор в напряжение от 25 до 40 В за время от 50 пс до 5 нс. Время перехода зависит от параметров электрической дуги, напряжения и т. д. Начальный переход электрического поля – первый этап в серии событий, приводящих к сильным кратковременным электромагнитным полям.

c) Ток начинает проходить на металлическую часть в руках человека и на ИО. Первый фронт импульса распространяется со скоростью света и в течение 0,8 нс достигает руки человека. Так как ток продолжает распространяться далее на ИО и руку, он будет отражаться и подвергаться потерям на излучение и сопротивление, что приведет к ряду интенсивных последовательных импульсов тока на ИО и человека).

d) Так как процесс разряда продолжается, высокочастотные составляющие тока быстро исчезнут, в основном из-за излучения. С течением времени ток становится более гладким (т. е. с малым числом высокочастотных составляющих) и в итоге тело достигает нового электростатического равновесия с ИО. Оставшийся заряд на теле может не равняться нулю, так как электрическая дуга может погаснуть прежде, чем тело полностью разрядится. Если рука и металлический объект продолжает приближаться к ИО, еще один разряд может возникнуть с меньшим уровнем напряжения, чем предыдущий ЭСР и ведущий к последовательности ЭСР с каждым разом все меньшим уровнем напряжения и большим временем нарастания (частично из-за более низкого напряжения).

e) Во время каждой последовательности разрядов при наблюдении за какой-нибудь точкой на руке, теле или ИО будет наблюдаться накопление заряда перед разрядом; во время фазы разряда – быстро изменяющийся ток; после разряда – небольшой остаточный заряд.

f) Из теории об антеннах известно, что изменяющийся заряд и изменяющийся ток будут вызывать излучаемое поле. В приближении поле напрямую зависит от тока и заряда, а на дальних расстояниях поле определяется производными от тока и заряда по времени. Переход от близких расстояний (ближнее поле) и наблюдаемыми полями на большом расстоянии (дальнее поле) очень сложен. Измерения и моделирование показали, что кратковременные поля от ЭСР по крайней мере для самых критичных первых наносекунд достигнут состояния дальнего поля на расстоянии 10 см от электрической дуги.

g) Из вышеизложенного следует, что производные тока и заряда очень важны в отношении сбоев (не приносящих ущерб) электронных систем.

h) Важно отметить, что при разряде от человека производные тока и разряда определяются временем уменьшения уровня напряжения в электрической дуге. Таким образом, время нарастания тока при разряде определяют высокочастотные составляющие.

Из этого следует, что кратковременные поля от ЭСР «человек – металл» – очень важная часть процесса ЭСР. Идеальный генератор ЭСР будет воспроизводить их в некоторой дискретной форме. Напряженности поля ЭСР «человек – металл» и т. д. хорошо известны.

D.1.3 Генератор электростатических разрядов

Следующий этап – проанализировать и сравнить процессы, возникающие в генераторах ЭСР. Так как большинство испытаний проводятся методом контактного разряда, следующая информация относится только к генераторам ЭСР, работающим в режиме контактного разряда.

a) Разрядный наконечник генератора ЭСР прикасается к заземленной (в большинстве случаев) части ИО.

b) Перед разрядом конденсатор внутри генератора заряжен (генератором). Во многих моделях практически все электростатические поля, возникающие в процессе зарядки, не выходят за габариты генератора ЭСР. В результате электростатическое поле в момент перед разрядом гораздо меньше, чем электростатическое поле человека, заряженного до такого же напряжения.

c) Разряд инициируется закрытием внутренним реле генератора ЭСР. Конструкция этих специальных реле обеспечивает хорошую воспроизводимость тока разряда. Однако из-за того, что реле внутреннее и не находится в точке прикосновения генератора к ИО, возникновение разрядного тока отличается от разряда человека.

d) Время уменьшения напряжения в реле очень маленькое, менее 100 пс, что приводит к распространению тока во всех направлениях, на все контактирующие металлические части и металлические части, расположенные поблизости. Импульс тока распространяется со скоростью света (в диэлектриках с уменьшенной скоростью). Время нарастания импульса равняется времени уменьшения напряжения.

e) Время уменьшения напряжения меньше 100 пс, но настоящий стандарт устанавливает время нарастания тока, измеренное в точке контакта датчика, равное (0,8 ± 0,2) нс. Для достижения этого значения в генераторах ЭСР приняты меры, которые увеличивают время нарастания с очень низкого значения через реле до стандартных значений на разрядном наконечнике.

f) Кратковременные поля вызываются всеми производными тока и производными плотности заряда. Важно отметить различие между разрядом от генератора и человека с металлом. Для разряда от человека время нарастания тока в дуге – самый быстрый процесс и определяет спектр кратковременных полей. Однако при использовании генератора ЭСР контактным методом высокочастотный спектр определяется временем уменьшения напряжения на реле, а не временем нарастания на разрядном наконечнике.

g) Так как все изменения тока в генераторе вызывают кратковременные поля, установлено время нарастания тока 100 пс в реле относительно кратковременных полей от генератора ЭСР, так же как установлено время нарастания тока (0,8 ± 0,2) нс в точке разряда. Кратковременные поля, вызываемые в генераторе быстрее, чем в точке разряда, являются нежелательными кратковременными полями, так как они увеличивают высокочастотные составляющие излучаемых полей на расстоянии относительно полей, произведенных аналогичным разрядом «человек – металл», с таким же временем нарастания тока и пиковым значением в точке разряда.

Исходя из вышеизложенного, можно увидеть, что степень участия быстро нарастающих токов в возникновении кратковременных полей сильно зависит от структуры генератора ЭСР. Влияние этих полей может быть уменьшено, а может преобладать над кратковременными полями в любом генераторе. К сожалению, эти влияния не регулируются настоящим стандартом, в результате чего возникает большая зависимость результатов испытаний ЭСР от специфики используемого генератора.

D.2 Реакция ИО на испытания электростатическим разрядом

Во время испытания ИО на устойчивость к ЭСР проверяется реакция ИО на широкий спектр электрических помех. Спектр включает: напряжение диэлектрического пробоя, вторичный пробой в щелях на расстоянии от точки воздействия, ток из-за перепада напряжения на сопротивлении, перепады магнитного поля Ldi/dt, магнитные поля от индуцированных напряжений, электрические поля от индуцированных напряжений (поля могут быть в ближних зонах и в дальних зонах). В этом смысле испытание на устойчивость к ЭСР отличается от испытаний на излучаемые радиопомехи объединением многих испытаний в одно.

Некоторые примеры отказов ИО относительно различных помех во время испытаний на устойчивость к ЭСР:

– разряд на разъем наносит вред интегральной схеме (ИС).

В этом примере энергия рассеивается на ИС, максимальный ток или заряд, проходящий через ИС, может определить порог разрушения ИС;

– разряд через зазор в пластмассовом корпусе позволяет искре достичь ИС.

В этом случае испытание на устойчивость к ЭСР определяет устойчивость к диэлектрическому пробою зазора через пластмассовый стык;

– разряд на корпус вызывает отказ системы в этом корпусе.

В этом примере в большинстве случаев кратковременные поля ЭСР наводятся в дорожки, провода или непосредственно на интегральные схемы системы, вызывая токи или напряжения, которые выводят из строя логические функции системы.

Механизм связи тока через генератор ЭСР с полями определяется производными тока по времени, даже на относительно средних дистанциях, например 20 см. Далее связь между полем и проводом, дорожкой или ИС в ИО является функцией скорости изменения электрического и магнитного полей. В итоге производные времени, влияющие на возникновение полей и процесс индукции, связаны с током инжекции, который приводит к различным формам импульсов тока на разрядном наконечнике и к различным наведенным напряжениям в дорожках в соответствии с полями. Наведенные напряжения в дорожках имеют длительность импульса, обычно гораздо меньшую, чем исходный ток ЭСР, как установлено в настоящем стандарте, и они могут вызывать переходные процессы в виде затухающих колебаний.

Так как кратковременные поля зависят от структуры генератора ЭСР (особенно составляющие полей с энергией на частотах свыше 300 МГц), необходимо учитывать, что наведенные токи на дорожки, провода или через ИС сильно зависят от структуры генератора ЭСР. Это может привести к различным вариантам результатов испытаний (в большинстве случаев сбоям, но не к поломке), если ИО испытывается с различными генераторами ЭСР и изготовитель генератора ЭСР не принял меры по уменьшению нежелательного уровня электромагнитного поля, которое возникает при быстром уменьшении напряжения на реле. Отметим, что эти различия в результатах испытаний относятся только к ИО, которые чувствительны к высокочастотным полям, в основном более 1 ГГц.

D.3 Кратковременные поля, возникающие вследствие электростатического разряда

Кратковременные поля при ЭСР «человек – металл» с временем нарастания около 850 пс и напряжением 5 кВ были измерены. Идеальный генератор ЭСР должен воспроизводить эти поля для метода контактного разряда напряжением 5 кВ. Для получения данных были расположены датчики тока с шириной полосы пропускания ±1 дБ между 1,5 МГц и 1,5 ГГц на вертикальной пластине связи на расстоянии 0,1 м от точки разряда, т. е. позиция датчика.

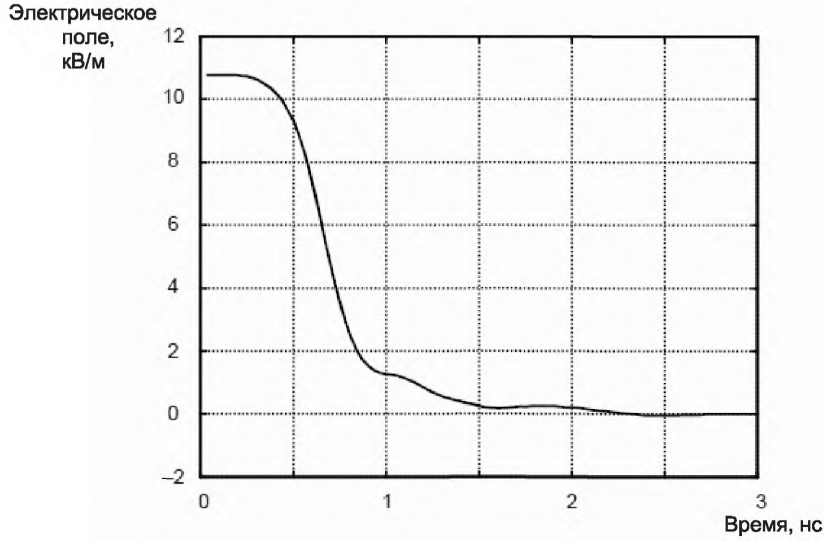


Рисунок D.1 – Электрическое поле реального человека, держащего металл, заряженное до 5 кВ, измеренное на расстоянии 0,1 м и с дугой длиной 0,7 мм

Электростатическое поле определяет электрическое поле. Поле уменьшается от электростатического значения до 20 % его начального значения за время спада, что схоже с временем нарастания тока.

Пример магнитного поля показан на рисунке D.2, основанный на времени нарастания тока разряда 500 пс.

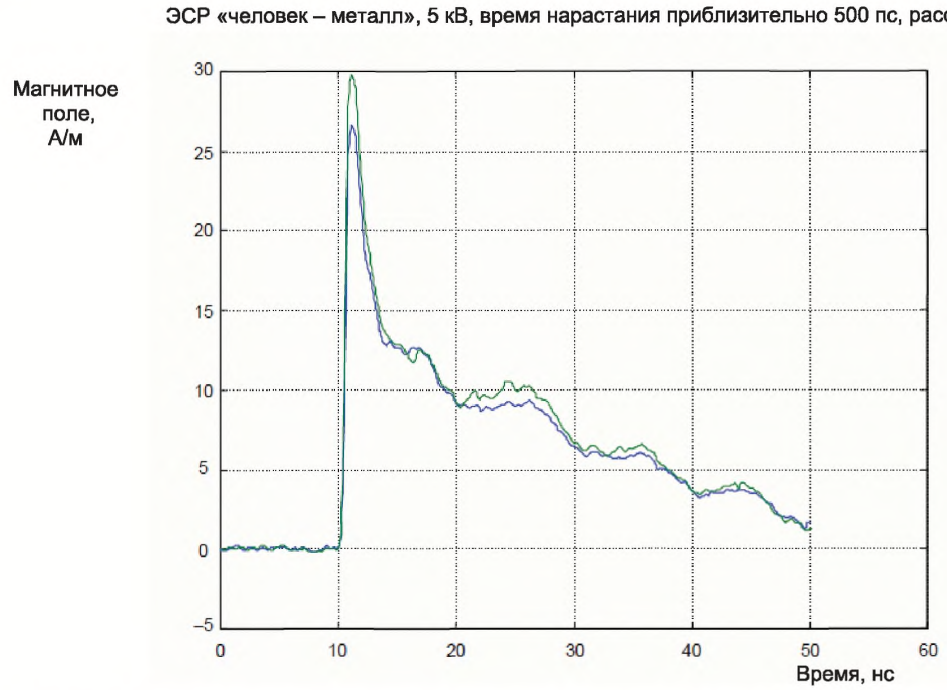


Рисунок D.2 – Магнитное поле реального человека, держащего металл, заряженное до 5 кВ, измеренное на расстоянии 0,1 м и с дугой длиной приблизительно 0,5 мм

Форма кривой магнитного поля следует из формы кривой тока.

Возможная проблема в форме кривой поля от генератора ЭСР – переходные процессы в виде затухающих колебаний. Значения полей от генераторов ЭСР могут быть намного меньше или намного больше, чем поля от «человек – металл», и зависят в большой степени от угла, под которым генератор ЭСР и шина заземления ориентированы к датчикам поля.

D.4 Индуцированные напряжения в малой петле

Кратковременные поля ЭСР будут индуцировать напряжения в дорожках печатной платы. Если малая петля расположена на заземленной плоскости, измерение высокочастотных составляющих кратковременных полей можно проводить способом, который не требует калиброванных широкополосных датчиков поля, что отражает процесс индукции в дорожке более точно, чем измерение поля. Организованное место для испытаний показано на рисунке D.3.



Рисунок D.3 – Полукруг петли на заземленной плоскости

На рисунке D.3 радиус петли составляет 14 мм. Диаметр проволоки 0,7 мм. Петля расположена на расстоянии 0,1 м от генератора ЭСР.

Типичные индуцированные напряжения от ЭСР «человек – металл» 5 кВ, имеющие время нарастания примерно 850 пс, показаны на рисунке D.4.

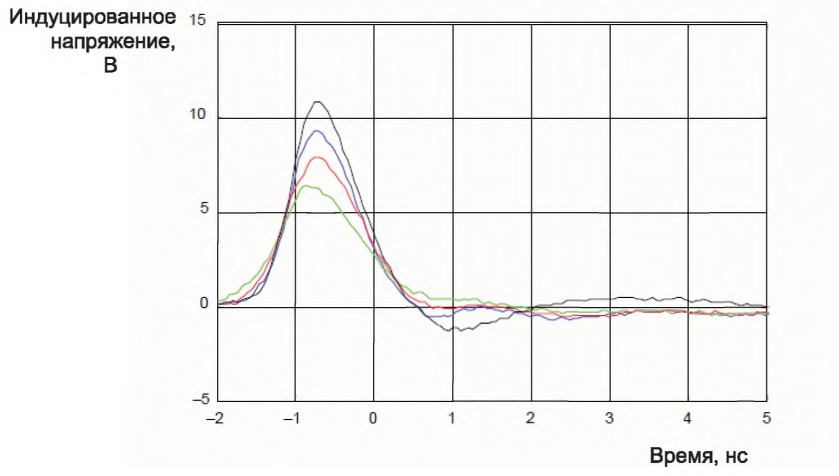


Рисунок D.4 – Индуцированные напряжения в полупетле

На рисунке D.4 петля радиусом 14 мм расположена на расстоянии 0,1 м для ЭСР «человек – металл» (5 кВ, время нарастания около 850 пс, дуга длиной около 800 мкм). Полупетля нагружена на 50 Ом.

D.5 Измерение излучаемых полей при электростатическом разряде с использованием коммерческих датчиков поля и генераторов ЭСР

Пример организованного места для испытаний для измерения излучаемых полей ЭСР показан на рисунке D.5.

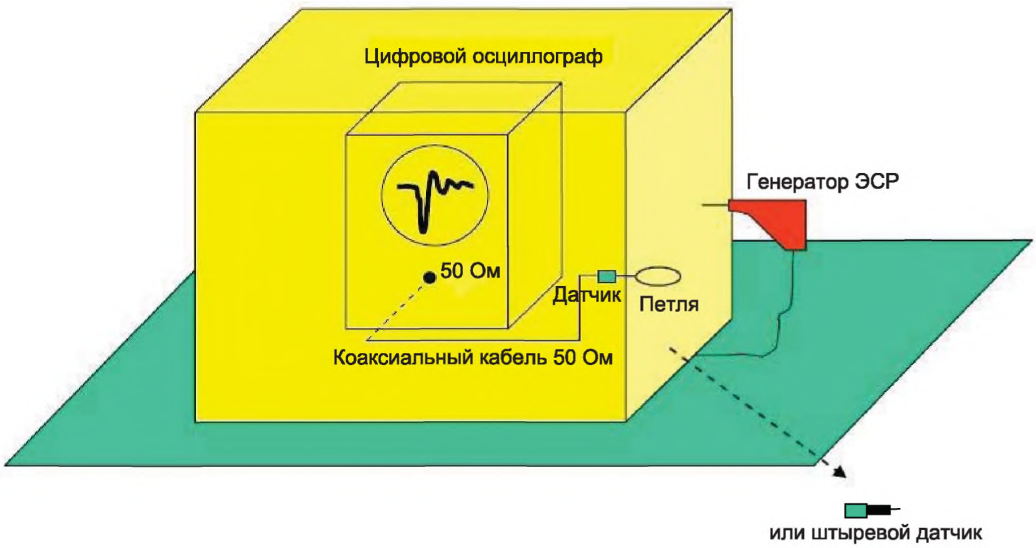


Рисунок D.5 – Пример организованного места для испытаний для измерения излучаемых полей ЭСР

Для измерения *E*- и *H*-полей должны использоваться следующие приборы:

– запоминающий цифровой осциллограф с диапазоном как минимум 2 ГГц;

– комплект коммерческих датчиков для магнитных *H*-(малая петля с экраном для отражения *E*-поля) и электрических *E*-полей (маленький штыревой датчик);

– коаксиальный кабель 50 Ом;

– генератор ЭСР.

Организованное место для испытаний (см. рисунок D.5):

– Измерения должны проводиться в экранированной комнате (в случае, если окружающая среда производит большие помехи).

– Генератор ЭСР должен быть установлен на 5 кВ.

– Ток разряда должен быть измерен исходя из требований стандарта для соответствия с математической формой кривой ЭСР.

– Цифровой осциллограф должен находиться в экранированном корпусе.

– Датчики поля должны быть соединены с осциллографом коаксиальным кабелем 50 Ом и расположены на краю экранированного корпуса, как показано на рисунке D.5.

– Коаксиальный кабель должен быть расположен таким образом, чтобы предотвратить возможные наводки излучаемых полей (например, коаксиальный кабель расположен очень близко к корпусу и экран кабеля присоединен к корпусу).

– На сопротивлении 50 Ом осциллографа должно быть измерено падение напряжения. ЭСР должен проводиться контактным методом на большой поверхности экранированного корпуса.

– Генератор ЭСР должен быть перемещен для измерения излучаемых полей более чем на одно расстоянии от датчика.

Расчеты *E* и *H* после измерения индуцированных напряжений в нагрузку датчика:

– Измерить с помощью цифрового осциллографа падение напряжения *v* (t) на нагрузке 50 Ом относительно излучаемых полей, произведенных генератором ЭСР.

– Рассчитать $V(\omega)$ через преобразование Фурье от $v(t)$.

– Рассчитать или измерить передаточную функцию $T(\omega)$ для используемых датчиков поля.

– Рассчитать $E(t)$- и $H(t)$-поля через обратное преобразование Фурье от $V(\omega)/T(\omega)$.

Некоторые результаты показаны на рисунках D.6 и D.7. Использовалось численное моделирование для подтверждения и обратной процедуры расчета *H*-поля после измерения падения напряжения в петле.

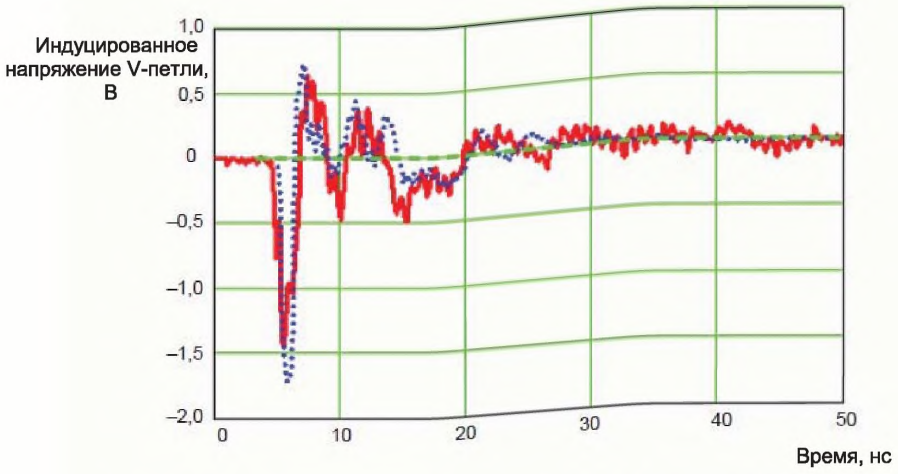


Рисунок D.6 – Сравнение измеренного (сплошная линия) и численно рассчитанного (пунктирная линия) падения напряжения в петле для дистанции 45 см

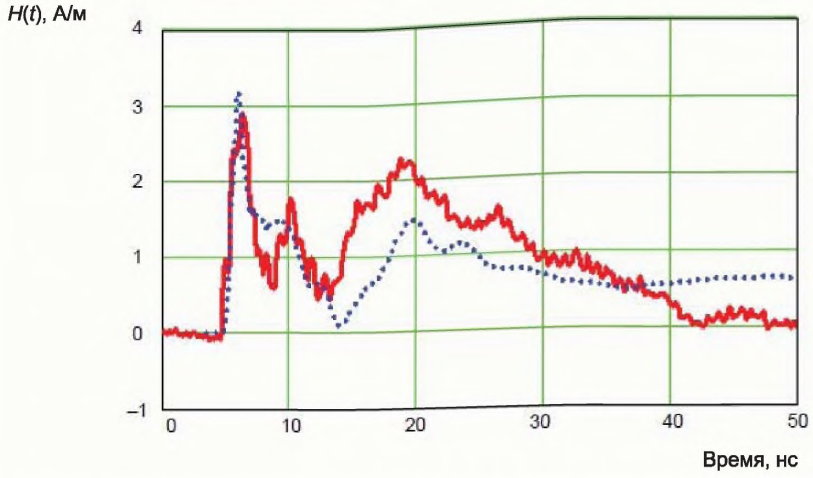


Рисунок D.7 – Сравнение рассчитанного *H*-поля по измеренным значениям (сплошная линия) и *H*-поля, рассчитанного численным моделированием (пунктирная линия) на расстоянии 45 см

D.6 Простая процедура для оценки излучаемых полей и напряжений, индуцируемых генераторами электростатических разрядов

Следующая процедура может быть использована для оценки излучаемых полей генераторами ЭСР, используя измеренный ток ЭСР:

– Используется стандартный или измеренный ток ЭСР наконечника.

– Испытываемая цепь считается электрически закороченной и в первом приближении можно пренебречь параметрами каждой части линии.

– Как только будут известны поля помех во временной области, индуцируемое напряжение может быть рассчитано с помощью эквивалентной схемы на рисунке D.8.

– Составляющей *E*-поля можно пренебречь для цепей, которые имеют как минимум одну низкоомную нагрузку (например, высокоскоростные цифровые устройства).

– *H*-поле рассчитывается по формуле: $H = I/(2\pi r)$, где r – расстояние между наконечником и испытываемой цепью. Другими параметрами, такими как ток в реле, ток смещения, полоса заземления и другие, можно пренебречь.

– Сравнение рассчитанных (худший вариант) и полученных реальных результатов испытательной установки необходимо для определения различий (например, см. рисунок D.9 для *H*-поля).

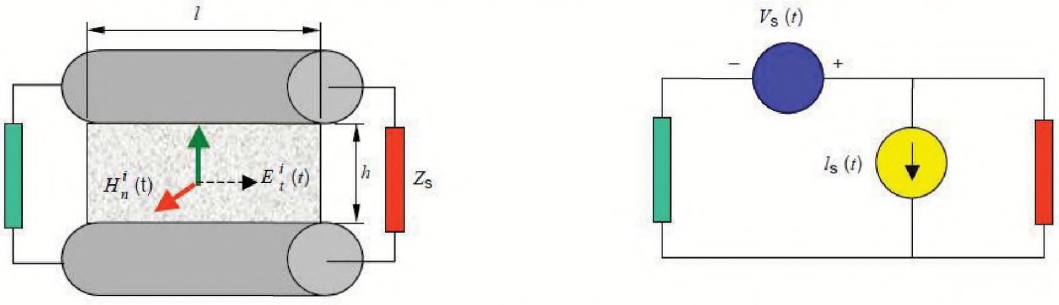
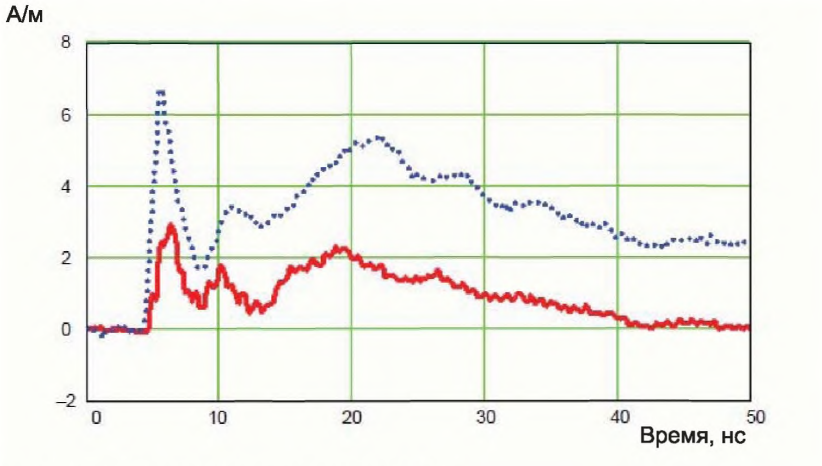


Рисунок D.8 – Структура отображения излучаемых полей и эквивалентной схемы

$$V_S(t) = \mu A \frac{\partial}{\partial t} H_n^i(t) \qquad I_S(t) = CxIxh \frac{\partial}{\partial t} E_t^i(t),$$

где $A = l \times h$ Площадь петли C = емкость линии/m



Излучаемые *H*-поля на расстоянии r = 45 см.
Сплошная линия – измерено.
Пунктирная линия – рассчитано по формуле $I/(2\pi r)$.
I – измеренный ток ЭСР.

Рисунок D.9 – Излучаемые *H*-поля

D.7 Ссылочный документ

S. Caniggia, F. Maradei, *Numerical Prediction and Measurement of ESD Radiated Fields by Free-Space Field Sensors*, IEEE Trans. on EMC, Vol.49, August 2007.

Приложение Е
(справочное)

Анализ неопределенности измерений

Е.1 Общие положения

Воспроизводимость испытаний по ЭМС зависит от многих факторов или воздействий на результаты испытаний. Эти воздействия создают ошибки, порождающие большое количество помех, которое можно классифицировать по влиянию как случайные или систематические. Соответствие большого количества конкретных классифицированных помех с большим количеством помех, определенных в настоящем стандарте, подтверждается серией измерений (например, измерение времени нарастания осциллографом с помощью аттенюаторов). Результат каждого измерения является всего лишь приближением к значению измеряемой величины, и измеренная величина может отличаться от истинного значения на некоторое значение из-за неопределенности измерений. Критическим элементом в определении неопределенности измерений является неопределенность, связанная с калибровкой испытательного оборудования.

Для того чтобы достичь высокой достоверности результатов калибровки, необходимо определить источники неопределенности, касающейся измерительного оборудования, и определить конкретно неопределенность измерения.

Е.2 Категории неопределенностей

Погрешности измерений в основном имеют две составляющие: случайная составляющая (здесь определено как тип А) и систематическая составляющая (здесь определено как тип В). Неопределенность, обусловленная случайной составляющей, связана с непредсказуемыми воздействиями. Неопределенность, обусловленная систематической составляющей, в общем случае связана с оборудованием, используемым при измерениях. Систематическую составляющую иногда можно скорректировать или уменьшить, а случайную составляющую – нет. В рамках приведенной системы измерений может быть большое количество воздействий, влияющих на любой из этих компонентов.

Может быть и так, что неопределенность, обусловленная случайной составляющей, одного метода испытаний может стать неопределенностью, обусловленной систематической составляющей, другого, где применяются результаты первого метода. Для предотвращения этой возможной ситуации вместо неопределенности, обусловленной систематической составляющей, и неопределенности, обусловленной случайной составляющей, введены типы неопределенностей и сгруппированы в две категории.

– Тип А: те, которые оцениваются статистическими методами оценки стандартными отклонениями для серии испытаний. Обычно соответствует нормальному или распределению Гаусса.

Распределение	Суммарная неопределенность	Комментарий
Нормальное или Гаусса	$U_c(y) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{j=1}^{n}(u_j - \bar{u})^2}$	Обычно исходя из данных, полученных при верификации

– Тип В: те, которые оцениваются другими способами. Они обычно связаны с такими воздействиями, как рассогласование, потери в кабелях, нелинейность характеристик оборудования. При анализе значения и распределения неопределенности типа В могут быть оценены исходя из данных калибровки, спецификации изготовителей оборудования или просто знаний и опыта.

Классификация по типам А и В не означает, что существуют различия в происхождении составляющих, их разделение основано на оценке их происхождения. Оба типа могут иметь распределение вероятностей, и составляющие неопределенности обоих типов могут быть оценены стандартными отклонениями.

Е.3 Ограничения

Следующие ограничения и условия применяются к анализу в настоящем приложении.

– Бюджет неопределенности ограничен неопределенностью в отношении измерительного оборудования (неопределенность типа В). Однако это не означает, что лаборатория должна игнорировать

влияние неопределенностей типа А, но это должно быть определено отдельными испытательными лабораториями для достижения более четкой картины их неопределенности измерений.

– Все вклады в неопределенность считаются некоррелированными.

– Доверительный уровень вероятности в 95 % считается приемлемым.

Примечание – Пример бюджета неопределенности типа В приведен в таблицах Е.1 – Е.3.

Е.4 Расчет неопределенности типа В

Стандартная неопределенность рассчитана из установленного значения с применением делителя относительно распределения вероятности.

Делители для отдельных распределений вероятности, определенные в настоящем стандарте:

Распределение	Делитель	Комментарии
Нормальное	Коэффициент охвата k	k = 2 для доверительного уровня вероятности в 95 %. Обычно определяется из сертификатов калибровки
Прямоугольное	$\sqrt{3}$	Обычно определяется из данных изготовителя оборудования
U-образное	$\sqrt{2}$	Неопределенность рассогласования. Вклад в неопределенность в основном лежит в заявленных пределах

Во всех случаях, где распределение неопределенности неизвестно, используется прямоугольное распределение по умолчанию.

Расчет суммарной стандартной неопределенности для каждого испытания приводит к объединению отдельных стандартных неопределенностей. Это верно в том случае, если все значения в одинаковых единицах измерения некоррелированы и объединяются сложением в логарифмической шкале (обычно в дБ). Однако значения для калибровки ЭСР так же, как и для измерения, должны даваться в процентах; расчет производится:

$$10^{\frac{\text{значение в дБ}}{20}} \times 100.$$

Результат этого расчета – суммарная стандартная неопределенность $u_c(y)$,

где $U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} U_i^2(y)}$.

$u_i(y)$ определяется как отдельная стандартная неопределенность.

Распределение Стьюдента (t-распределение) обеспечивает коэффициенты охвата для неопределенности при условии, что выходная переменная y следует нормальному распределению.

При перемножении $u_c(y)$ и коэффициента охвата k расширенная неопределенность U_c может дать увеличенный доверительный уровень вероятности. Коэффициент охвата получен из снижения степени свободы, рассчитанной из отношения между неопределенностями типов А и В.

Е.5 Объединение бюджета неопределенности

Бюджет неопределенности – перечень возможных источников погрешностей измерений с оценкой их распределений вероятности.

Расчет бюджета неопределенности требует следующих шагов:

a) определить характеристику значения распределения (т. е. то, что было сгенерировано оборудованием);

b) определить вклады в неопределенность и их значения;

c) определить распределение вероятностей каждого вклада в неопределенность;

d) рассчитать стандартную неопределенность $u(x_i)$ для каждого вклада в неопределенность;

e) рассчитать суммарную неопределенность $u_c(y)$, коэффициент охвата k и расширенную неопределенность $U_c = u_c(y) \times k$;

f) применить расширенную неопределенность;

g) опубликовать расширенную неопределенность в документах по качеству, как необходимо (лабораториям не требуется публиковать эти данные в протоколах испытаний, пока это не будет затребовано).

Е.6 Вклады в неопределенность электростатического разряда

Неопределенности калибровки ЭСР так же, как и испытания на устойчивость к ЭСР, не могут быть определены тем же способом, что и для эмиссии и других измерений, так как испытание на устойчивость к ЭСР не имеет численного результата, а дает простой результат соответствия или несоответствия. Во время испытания на устойчивость к ЭСР помеха характеризуется несколькими параметрами относительно ИО. Один (или более) наблюдаемый сигнал ИО проверяется или наблюдается и сравнивается с критериями качества функционирования, откуда и возникает результат соответствия или несоответствия.

Примечание 1 – При калибровке ИО эквивалентно генератору ЭСР.

Примечание 2 – Слова «измерительное оборудование» относится здесь к оборудованию, используемому для калибровки.

Классическое измерение неопределенности может в принципе применяться к измерению сигналов от ИО. Так как процесс измерения при наблюдении специфичен для ИО, настоящий базовый стандарт не может и не должен быть применяться для оценки неопределенности системы наблюдения (наблюдателя), однако это может быть выполнено.

Неопределенности могут быть установлены для значений параметров помехи. Таким образом, они устанавливают степень соответствия определенного оборудования с требованиями настоящего базового стандарта.

Эти неопределенности, полученные для отдельного измерительного оборудования, не устанавливают степень соответствия между смоделированным электромагнитным полем в соответствии с базовым стандартом и реальным электромагнитным полем вне лаборатории. Следовательно, вопросы относительно определения значений помех (например, наконечник генератора направлен к плоскости датчика) не относятся к неопределенностям измерительного оборудования.

Так как влияние параметров величины помехи на ИО заранее неизвестно и во многих случаях ИО ведет себя как нелинейная система, численное значение неопределенности не может быть определено для большого количества помех как общая неопределенность. Величина каждого параметра помехи должна сопровождаться специфичной неопределенностью, которая может привести к более чем одному бюджету неопределенности для испытания.

Примечание 3 – В настоящем приложении делается упор на неопределенности калибровки в качестве примера.

Ниже приведены вклады в неопределенность, применяемые для оценки влияний измерительного оборудования и организованного места для испытаний:

– считывание значения пика;
– считывание уровня 10 %;
– считывание уровня 90 %;
– считывание времени 30 и 60 нс;
– низкочастотное передаточное полное сопротивление Z_{sys};
– статическое напряжение;
– рассогласование «цепь – осциллограф»;
– цепь «датчик – аттенюатор – кабель»;
– горизонтальная составляющая осциллографа;
– вертикальная составляющая осциллографа;
– воспроизводимость измерительной системы (тип А);
– ориентация генератора ЭСР (тип А);
– размещение генератора ЭСР (тип А);
– различия в организованном месте для испытаний (тип А);
– калибровка датчика, осциллографа, аттенюатора.

Следует отметить, что вклады в неопределенность, применяемые при калибровке и при испытаниях, могут быть разными. Это приводит к различию (незначительному) бюджетов неопределенности для калибровки и испытаний.

Такие аспекты, как ориентация наконечника генератора ЭСР, считаются неопределенностями типа А и такие неопределенности не рассматриваются в настоящем базовом стандарте. Исключение из этого правила было сделано для учета воспроизводимости системы измерения для измерений и для калибровки.

Е.7 Неопределенности результатов калибровки

Рекомендуется определить независимые бюджеты неопределенности для каждого параметра калибровки; это I_p, I_{30}, I_{60}, t_r. При испытании на воздействие ЭСР величина помехи – это ток разряда от генератора ЭСР, примененного к ИО. Параметры калибровки для этих величин воздействия I_p, I_{30}, I_{60} и t_r. Как описано в разделе Е.6, независимый бюджет неопределенности должен быть рассчитан для каждого из этих параметров.

В таблицах Е.1 – Е.3 приведены примеры рассчитанного бюджета неопределенности этих параметров. Таблицы включают вклады в неопределенность в бюджет неопределенности, которые считаются наиболее значимыми для этих примеров, детали (численные значения, тип распределения и т. д.) каждого вклада в неопределенность и результаты расчета, необходимые для определения каждого бюджета неопределенности.

Таблица Е.1 – Пример бюджета неопределенности для калибровки времени нарастания ЭСР

Вклад в неопределенность	Распределение	Значение, пс	$u_i(y)$, пс	$u_i(y)^2$, пс^2	Комментарий
Считывание значения пика	Нормальное $k = 2$	50	25	625	Неопределенность пикового значения 6,3 % (таблица Е.2) от измеренного времени нарастания 800 пс
Считывание времени, соответствующего 90 % пикового тока	Прямоугольное Делитель = $\sqrt{3}$	25	14	196	20 Гвыб/с частота дискретизации осциллографа
Считывание времени, соответствующего 10 % пикового тока	Прямоугольное Делитель = $\sqrt{3}$	25	14	196	20 Гвыб/с частота дискретизации осциллографа
Общая горизонтальная составляющая осциллографа (примечание 1)	Нормальное $k = 2$	36	18	324	От калибровочной лаборатории осциллографа
Цепь «датчик – аттенюатор – кабель»	Нормальное $k = 2$	30	15	225	От калибровочной лаборатории осциллографа (примечание 2)
Воспроизводимость	Нормальное Делитель = 1	45	45	2025	Полученный из формулы для типа А (примечание 3)
			Сумма	3591	
Суммарная стандартная неопределенность u_c для времени нарастания			Корень	60 пс	
Расширенная неопределенность U для времени нарастания	Нормальное $k = 2$	120 пс (15 %)			Доверительный уровень вероятности 95 %

Примечание 1 – Общая горизонтальная измерительная составляющая осциллографа включает в себя неопределенности горизонтальной разрешающей способности осциллографа, разрешающей способности интерполяции, разрешающей способности по оси времени, измерения частоты, коррекции времени нарастания и т. д.

Примечание 2 – Сертификат калибровки цепи часто содержит только частотную характеристику аттенюатора. Здесь предполагается, что неопределенность измерения времени нарастания была предоставлена калибровочной лабораторией, следовательно $k = 2$.

Примечание 3 – Воспроизводимость обычно берется как минимум от 5 последовательных измерений. Эта оценка неопределенности по типу А и формула для стандартного отклонения $s(\bar{q})$ для множества повторяемых измерений n:

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

где q_j – результат j-го измерения и $\bar{q}$ – среднеарифметическое результатов.

Таблица Е.2 – Пример бюджета неопределенности для калибровки пикового тока ЭСР

Вклад в неопределенность	Распределение	Значение, %	$u_i(y)$, %	$u_i(y)^2$, $\%^2$	Комментарий
Общая вертикальная измерительная составляющая осциллографа (примечание 1)	Нормальное $k = 2$	3,2	1,6	2,56	От калибровочной лаборатории
Цепь «датчик – Аттенюатор – кабель»	Нормальное $k = 2$	3,6	1,8	3,24	От калибровочной лаборатории
Рассогласование: от цепи к осциллографу	U-образное Делитель $= \sqrt{2}$	2	1,4	2	От калибровки либо спецификации (примечание 2)
Низкочастотное передаточное полное сопротивление	Нормальное $k = 2$	6×10^{-6}	3×10^{-6}	9×10^{-12}	Внутренняя калибровка (примечание 3)
Воспроизводимость	Делитель = 1	1,5	1,5	2,25	Полученный из формулы оценки для типа А (примечание 4)
			Сумма	10,05	
Суммарная стандартная неопределенность u_c для пикового тока			Корень	3,17	
Расширенная неопределенность U для пикового тока	$k = 2$	6,3 %			Доверительный уровень вероятности 95 %

Примечание 1 – Общая вертикальная составляющая осциллографа включает в себя неопределенности вертикальной разрешающей способности осциллографа, низкочастотной нелинейности, высокочастотной нелинейности, сдвига разрешающей способности и т. д. Калибровка должна охватить всю частотную область, т. е. $f \le 2$ ГГц. Однако неравномерность не должна быть лучше, чем у фильтра первого порядка с частотой среза $f_c = 2$ ГГц, т. е. $A(f) \approx \left|1 + (f / f_c)^2\right|^{-1/2}$.

Примечание 2 – Рассогласование возникает из-за фактора выходного отражения Γ_C цепи «датчик – аттенюатор – кабель» и фактора входного отражения Γ_O осциллографа. Они могут быть получены из сертификатов калибровки или из спецификаций. По причине вкладов в неопределенность ошибок второго порядка в Г достаточно спецификации. Следует отметить, что в спецификации должен охватываться весь частотный диапазон и для осциллографов эти данные часто не указываются, поэтому требуются дополнительные измерения.
Фактор рассогласования:

$\Gamma_C \times \Gamma_O$, с U-образным распределением, с коэффициентом деления $\sqrt{2}$.

Эта формула неопределенности согласования предполагает, что чувствительность амплитуды осциллографа откалибрована по принципу радиочастотной калибровки, т. е. погрешность по напряжению относится к случайному напряжению от источника с сопротивлением 50 Ом, а не к действительному напряжению на входе. Это должно быть подтверждено в сертификате, иначе должна использоваться другая формула.

Примечание 3 – Предполагается, что лаборатория имеет отдельную инструкцию по калибровке с оценкой неопределенности, исходя из расширенной неопределенности U при этой калибровке.

Примечание 4 – Воспроизводимость обычно берется как минимум от 5 последовательных измерений. Эта оценка по типу А и формула для стандартного отклонения $s(\overline{q})$ для множества повторяемых измерений n:

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

где q_j – результат j-го измерения и $\overline{q}$ – среднеарифметическое результатов.

Таблица Е.3 – Пример бюджета неопределенности для калибровки тока ЭСР I_{30}, I_{60}

Вклад в неопределенность	Распределение	Значение, %	$u_i(y)$, %	$u_i(y)^2$, $\%^2$	Комментарий
Неопределенность из таблицы Е.2	Нормальное $k = 2$	6,3	3,15	9,92	Неопределенность пикового тока (таблица Е.2)
Считывание времени 30 или 60 нс	Прямоугольное $k = \sqrt{3}$	0,17	0,098	0,0096	Чувствительность считывания тока при 30 или 60 нс для измерения во временном интервале между 10 % от значения пикового тока и 30 или 60 нс 20 Гвыб/с частота дискретизации осциллографа (два считывания с неопределенностью 50 пс каждое)
			Сумма	9,93	
u_c			Корень	3,15 %	
Расширенная неопределенность U для I_{30} и I_{60}	Нормальное $k = 2$	6,3 %			Доверительный уровень 95 %

Комитеты по изделиям или аккредитованные органы могут устанавливать другие трактовки.

Е.8 Применение неопределенностей для оценки генератора электростатических разрядов

В общем случае, чтобы убедиться в соответствии генератора спецификации, результаты калибровки должны быть в пределах установленных норм настоящего стандарта (допустимое отклонение не уменьшается измерением неопределенности).

Следующие неопределенности измерений рекомендованы лабораториям, проводящим калибровку:

Время нарастания t_r – измерительная неопределенность ≤ 15 %.
Пиковый ток I_p – измерительная неопределенность ≤ 7 %.
Ток через 30 нс – измерительная неопределенность ≤ 7 %.
Ток через 60 нс – измерительная неопределенность ≤ 7 %.

Приложение F
(справочное)

Различие в результатах испытаний и стратегия расширения

F.1 Различие в результатах испытаний

В результате сложной природы ЭСР и требуемых норм относительно испытательного оборудования могут возникнуть некоторые различия в результатах испытаний на устойчивость к ЭСР. Часто это различие в испытательных уровнях, при которых случаются ошибки или вид ошибок, которые возникают в ИО во время испытаний. В зависимости от испытательного уровня, при котором они возникают, такие результаты испытаний могут повлиять на решение, прошло ИО испытание или не прошло.

В случае различия результатов испытаний следующие шаги должны быть предприняты для определения источника различий.

– Проверить организованное место для испытаний; проверить все детали, включая расположение каждого кабеля и состояние ИО (например, крышки, дверцы).

– Проверить процедуру испытания, включая режим работы ИО, расположение и положение вспомогательного оборудования, расположение оператора, состояние программного обеспечения, применение разрядов к ИО.

– Проверить ИГ. Правильно ли он работает? Когда он был последний раз калиброван? Он работает согласно спецификации? Зависят ли результаты испытаний от использования различных генераторов?

Если результаты испытаний зависят от использования различных генераторов, тогда результаты с использованием любого генератора, который соответствует требованиям 6.2, могут быть использованы для определения соответствия настоящему стандарту.

F.2 Стратегия расширения

Если возникают различия в результатах испытаний при всех одинаковых условиях испытаний, включая генераторы ЭСР, может быть применена следующая стратегия расширения для определения соответствия стандарту. Эта стратегия будет применяться индивидуально к каждой точке испытаний для получения экспериментальных различных данных испытаний.

a) При первом испытании совершается предписанное количество разрядов в испытательной точке в соответствии с 8.3 (например, 50 разрядов) на необходимом испытательном уровне. Если не было недопустимых эффектов при первой последовательности разрядов, ИО проходит испытание в этой точке. Если происходит один недопустимый эффект в этой последовательности разрядов, проводятся дальнейшие испытания согласно перечислению b). Если происходит более одного недопустимого эффекта в этой последовательности разрядов, ИО не проходит испытание в этой точке.

b) Во время второго испытания применяется новая последовательность с удвоенным числом разрядов в этой испытательной точке на необходимом испытательном уровне. Если не было недопустимых эффектов при этой последовательности разрядов, ИО проходит испытание в этой точке и испытательном уровне. Если происходит один недопустимый эффект в этой последовательности разрядов, проводятся дальнейшие испытания согласно перечислению c); иначе ИО не проходит испытание в этой точке. Если происходит более одного недопустимого эффекта в этой последовательности разрядов, ИО не проходит испытание в этой точке.

c) Во время третьего испытания применяется новая последовательность с тем же числом разрядов, что и в перечислении b), в этой испытательной точке на необходимом испытательном уровне. Если не было недопустимых эффектов при этой последовательности разрядов, ИО проходит испытание в этой точке. Если происходит один (или более) недопустимый эффект в этой последовательности разрядов, ИО не проходит испытание в этой точке.

Библиография

[1] IEC 60050-311 International electrotechnical vocabulary – Part 311: General terms relating to electrical measurement
(Международный электротехнический словарь. Часть 311. Общие термины в области электрических измерений)

[2] IEC 61000-6-1 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light-industrial environments
(Электромагнитная совместимость (EMC). Часть 6-1. Общие стандарты. Помехоустойчивость для жилых, коммерческих зон и зон легкой промышленности)

[3] IEC Guide 107 Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications
(Совместимость электромагнитная. Руководство по составлению публикаций по электромагнитной совместимости)

Приложение Д.А
(справочное)

Сведения о соответствии государственных стандартов ссылочному международному стандарту

Таблица Д.А.1

Обозначение и наименование международного документа	Степень соответствия	Обозначение и наименование государственного стандарта
IEC 60068-1:1988 Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство	MOD	ГОСТ 28198-89 (МЭК 68-1-88) Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство
	IDT	ГОСТ 30630.0.0-99 Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Общие требования

Ответственный за выпуск *В. Л. Гуревич*

Сдано в набор 12.12.2011. Подписано в печать 29.12.2011. Формат бумаги 60×84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Arial. Печать ризографическая. Усл. печ. л. 6,51 Уч.- изд. л. 4,58 Тираж экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение:
Научно-производственное республиканское унитарное предприятие
«Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС)
ЛИ № 02330/0552843 от 08.04.2009.
ул. Мележа, 3, комн. 406, 220113, Минск.

gost.e-ecolog.ru