МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 61000-4-3— 2016

Электромагнитная совместимость (ЭМС)

Часть 4-3

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ

Испытание на устойчивость к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю

(IEC 61000-4-3:2010, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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

Сведения о стандарте

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

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 20 апреля 2016 г. № 87-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004 – 97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004 – 97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	Минэкономики Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 октября 2016 г. № 1459-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 61000-4-3—2016 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июня 2017 г.

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

Международный стандарт IEC 61000-4-3:2010 подготовлен Подкомитетом 77B «Высокочастотные электромагнитные явления» Технического комитета ТК 77 IEC «Электромагнитная совместимость».

Настоящее объединенное издание международного стандарта IEC 61000-4-3:2010 включает в себя третье издание, опубликованное в 2006 г., изменение 1 (2007 г.), изменение 2 (2010) и техническую поправку IS 1, опубликованную в 2008 г.

Техническая поправка к указанному международному стандарту внесена в текст настоящего стандарта и выделена двойной вертикальной линией, расположенной на полях слева от соответствующего текста, а обозначение и год принятия технической поправки приведены в скобках после соответствующего текста.

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

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

7 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Апрель 2020 г.

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

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

© Стандартинформ, оформление, 2016, 2020

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

Содержание

1 Область применения и цель 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Общие положения 4
5 Испытательные уровни 4
5.1 Испытательные уровни, относящиеся к общим задачам 4
5.2 Испытательные уровни, относящиеся к защите от радиочастотной эмиссии цифровых радиотелефонов и других радиочастотных излучающих устройств 5
6 Испытательное оборудование 5
6.1 Описание испытательного оборудования 6
6.2 Калибровка поля 6
7 Испытательная установка 12
7.1 Расположение настольного оборудования 12
7.2 Расположение напольного оборудования 12
7.3 Расположение кабелей 13
7.4 Расположение оборудования, устанавливаемого на теле человека 13
8 Процедура испытания 13
8.1 Лабораторные опорные условия 13
8.2 Проведение испытания 14
9 Оценка результатов испытаний 15
10 Отчет об испытаниях 15
Приложение А (справочное) Обоснование выбора модуляции при испытаниях, относящихся к защите от радиочастотной эмиссии цифровых радиотелефонов 21
Приложение В (справочное) Излучающие антенны 25
Приложение С (справочное) Использование безэховых камер 26
Приложение D (справочное) Нелинейность усилителя и пример процедуры калибровки в соответствии с 6.2 28
Приложение Е (справочное) Рекомендации для технических комитетов, разрабатывающих стандарты на продукцию, по выбору испытательных уровней 32
Приложение F (справочное) Выбор методов испытаний 34
Приложение G (справочное) Описание электромагнитной обстановки 35
Приложение Н (обязательное) Альтернативный метод облучения для частот свыше 1 ГГц (метод независимых окон) 38
Приложение I (справочное) Метод калибровки пробников Е-поля 41
Приложение J (справочное) Неопределенность измерений, обусловленная испытательным оборудованием 53
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 56

Введение

Стандарты серии МЭК 61000 публикуются отдельными частями в соответствии со следующей структурой:

- часть 1. Общие положения:

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

- часть 2. Электромагнитная обстановка:

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

- часть 3. Нормы:

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

- часть 4. Методы испытаний и измерений:

методы измерений, методы испытаний;

- часть 5. Руководства по установке и помехоподавлению:

руководства по установке, методы и устройства помехоподавления;

- часть 6. Общие стандарты;

- часть 9. Разное.

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

Настоящая часть представляет собой международный стандарт, устанавливающий требования помехоустойчивости и процедуры испытаний, относящиеся к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям.

С учетом новых служб радиосвязи полоса частот испытаний может быть расширена до 6 ГГц. Уточнены калибровка поля и проверка линейности усилителя мощности цепи помехоустойчивости.

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

Электромагнитная совместимость (ЭМС)

Часть 4-3

МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И ИЗМЕРЕНИЙ

Испытание на устойчивость к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю

Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-3. Testing and measurement techniques. Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test

Дата введения — 2017—06—01

1 Область применения и цель

Настоящий стандарт применяется к требованиям устойчивости электрического и электронного оборудования к излучаемой электромагнитной энергии. Стандарт устанавливает испытательные уровни и требуемые процедуры испытаний.

Целью стандарта является установление общей основы для оценки устойчивости электрического и электронного оборудования к воздействию излучаемых радиочастотных электромагнитных полей. Метод испытаний, установленный в настоящем стандарте, представляет собой последовательный метод оценки помехоустойчивости оборудования или системы в отношении указанного явления.

Примечание 1 — В соответствии с Руководством IEC 107 настоящий стандарт является основополагающим стандартом ЭМС для применения техническими комитетами IEC, разрабатывающими стандарты на продукцию. Руководство IEC 107 устанавливает также, что технические комитеты, разрабатывающие стандарты на продукцию, ответственны за определение необходимости применения настоящего стандарта для испытаний на помехоустойчивость и (в случае его применения) за выбор испытательных уровней и критериев качества функционирования. ТК 77 и его подкомитеты готовы к сотрудничеству с техническими комитетами IEC, разрабатывающими стандарты на продукцию, в оценке уровней конкретных испытаний на помехоустойчивость для соответствующих видов продукции.

Настоящий стандарт рассматривает испытания на помехоустойчивость в связи с задачами защиты от радиочастотных электромагнитных полей любых источников. Особое внимание уделяется защите от радиочастотной эмиссии, создаваемой цифровыми радиотелефонами и другими радиочастотными излучающими устройствами.

Примечание 2 — Методы испытаний, установленные в настоящем стандарте, применяют для оценки эффектов воздействия электромагнитного излучения на оборудование конкретного вида. Моделирование и измерение электромагнитного излучения не обеспечивают достаточной точности для количественного определения данных эффектов. Установленные методы испытаний структурированы с основной целью обеспечить достаточную воспроизводимость результатов, полученных с использованием различных средств испытаний, при качественном анализе эффектов.

Настоящий стандарт устанавливает независимый метод испытания. Другие методы испытаний не могут быть применены в качестве заменяющих при требовании соответствия настоящему стандарту.

2 Нормативные ссылки

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

Издание официальное

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

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

3 Термины и определения

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

3.1 **амплитудная модуляция** (amplitude modulation): Процесс, при котором амплитуда несущего сигнала изменяется установленным образом.

3.2 **безэховая камера** (anechoic chamber): Экранированное помещение, покрытое радиочастотными поглотителями для уменьшения отражений от внутренних поверхностей.

3.2.1 **полностью безэховая камера** (fully anechoic chamber): Экранированное помещение, внутренние поверхности которого полностью покрыты безэховым материалом.

3.2.2 **полубезэховая камера** (semi-anechoic chamber): Экранированное помещение, все внутренние поверхности которого покрыты безэховым материалом, за исключением пола (пластины заземления), который должен отражать электромагнитные волны.

3.2.3 **модифицированная полубезэховая камера** (modified semi-anechoic chamber): Полубезэховая камера с дополнительными поглотителями, установленными на пластине заземления.

3.3 **антенна** (antenna): Преобразователь, который либо излучает электромагнитную энергию источника сигнала в пространство, либо воспринимает распространяющееся электромагнитное поле, преобразовывая его в электрический сигнал.

3.4 **симметрирующее устройство** (balun): Устройство для преобразования несимметричного напряжения в симметричное или наоборот.

[IEV 161-04-34]

3.5 **непрерывные волны** [continious waves (CW)]. Электромагнитные волны, последовательные колебания которых идентичны при установившихся условиях и которые могут быть прерваны или модулированы для переноса информации.

3.6 **электромагнитная волна** [electromagnetic (EM) wave]: Излучаемая энергия, создаваемая колебаниями электрического заряда, характеризующаяся колебаниями электрического и магнитного полей.

3.7 **поле дальней зоны** (far field): Область, в которой плотность потока мощности излучения приблизительно обратно пропорциональна квадрату расстояния от антенны.

Для дипольной антенны эта область соответствует расстоянию более $\lambda/2\pi$, где λ — длина волны излучения.

3.8 **напряженность поля** (field strength): Термин, применяемый только к измерениям, проводимым в дальней зоне. При этом может быть измерена либо электрическая, либо магнитная компонента поля и результаты измерений могут быть выражены в вольтах на метр, амперах на метр и ваттах на квадратный метр, причем каждая из указанных величин может быть преобразована в другие.

Примечание — Для измерений, проводимых в ближней зоне, термины «напряженность электрического поля» или «напряженность магнитного поля» применяют в зависимости от результирующих измерений электрического или магнитного полей. В указанной зоне поля соотношение между напряженностью электрического и магнитного полей и расстоянием является сложным и трудным для прогнозирования вследствие зависимости от конфигурации конкретных объектов. Ввиду того, что определить временные и пространственные соотношения фаз различных компонентов сложного поля, как правило, невозможно, неопределимой является также плотность потока мощности.

3.9 **полоса частот** (frequency band): Непрерывная область частот, заключенная между двумя пределами.

3.10 $\boldsymbol{E_c}$: Напряженность поля, применяемого при калибровке.

3.11 $\boldsymbol{E_t}$: Напряженность поля, применяемого при испытаниях.

3.12 **полное облучение** (full illumination): Метод испытания, при котором лицевая сторона испытуемого оборудования (ИО) полностью покрыта плоскостью однородного поля (UFA).

Данный метод испытания допускается применять на всех частотах испытаний.

3.13 **оборудование, установленное на теле человека** (human body-mounted equipment): Оборудование, предназначенное для применения при контакте с телом человека или при расположении в непосредственной близости к телу человека.

Данное определение включает в себя устройства, которые при эксплуатации держат в руках или носят с собой (например, карманные устройства), а также электронные устройства жизнеобеспечения и имплантаты.

3.14 **метод независимых окон** (independent windows method): Метод испытания (с использованием плоскости однородного поля размерами 0,5 × 0,5 м), при котором лицевая сторона ИО при испытании не покрыта полностью плоскостью однородного поля.

Данный метод испытания допускается применять на частотах испытаний свыше 1 ГГц.

3.15 **поле ближней зоны** (induction field): Преобладающее электрическое и/или магнитное поле, существующее на расстоянии $d < \lambda/2\pi$, где λ — длина волны, при условии, что физические размеры источника намного меньше, чем расстояние d.

3.16 **намеренно излучающее радиочастотное устройство** [intentional RF emitting device]: Устройство, которое излучает (создает) электромагнитное поле намеренно.

Примерами являются цифровые мобильные телефоны и другое радиооборудование.

3.17 **изотропный** (isotropic): Имеющий одинаковые свойства во всех направлениях.

3.18 **максимальное среднеквадратичное значение** (maximum rms value): Наибольшее кратковременное среднеквадратичное значение напряжения модулированного радиочастотного сигнала на интервале наблюдения, равном одному периоду модулирующего сигнала. Кратковременное среднеквадратичное значение определяется дискретно на каждом периоде несущей частоты. Например, на рисунке 1b максимальное среднеквадратичное значение $V_{maximum\ rms}$ составляет:

$$V_{maximum\ rms} = V_{p-p} / \sqrt{2} = 1{,}8 \text{ В}. \quad (1)$$

3.19 **модуляция с непостоянной огибающей** (non-constant envelope modulation): Модуляция радиочастотного сигнала, при которой амплитуда несущего сигнала незначительно изменяется в течение интервала времени, сравнимого с периодом несущего сигнала. Примерами являются амплитудная модуляция и модуляция при многостанционном доступе с временным разделением каналов (TDMA).

3.20 P_c: Подаваемая мощность, необходимая для установления напряженности поля при калибровке.

3.21 **частичное облучение** (partial illumination): Метод испытания с использованием плоскости однородного поля минимальными размерами 1,5 × 1,5 м, при котором лицевая сторона ИО при испытании не покрыта полностью плоскостью однородного поля.

Данный метод испытания допускается применять на всех частотах испытаний.

3.22 **поляризация** (polarization): Ориентация вектора электрического поля излучаемого поля.

3.23 **экранированное помещение** (shilded enclosure): Экранированное или металлическое помещение, сконструированное специально для отделения внутренней электромагнитной обстановки от внешней в целях предотвращения ухудшения качества функционирования ИО при воздействии внешних электромагнитных полей и ослабления электромагнитной эмиссии во внешнее пространство.

3.24 **перестройка (частоты)** (sweep): Непрерывное или шаговое изменение частоты в определенной полосе частот.

3.25 **многостанционный доступ с временным разделением каналов; TDMA** (time division multiple access): Метод доступа при временно́м разделении каналов, модуляционная схема которого основана на передаче нескольких каналов с использованием одного несущего сигнала определенной частоты. Каждый канал занимает установленный промежуток времени, в течение которого информация (при ее наличии в канале) передается с помощью высокочастотных импульсов. Если информация в канале отсутствует, импульсы не передаются, т. е. огибающая несущего сигнала не является постоянной. В течение длительности импульса амплитуда постоянна, и высокочастотный несущий сигнал модулирован по частоте или фазе.

3.26 **приемопередатчик** (tranceiver): Комбинация радиопередающего и радиоприемного оборудования в общем корпусе.

3.27 **плоскость однородного поля** (uniform field area, UFA): Гипотетическая вертикальная плоскость калиброванного поля, в котором изменения допустимо малы.

Цель калибровки поля заключается в обеспечении обоснованности результатов испытаний (см. 6.2).

4 Общие положения

Большинство электронного оборудования подвергается так или иначе воздействию электромагнитного излучения. Это излучение часто создается такими источниками общего применения, как портативные приемопередатчики, используемые управляющим и обслуживающим персоналом и службами безопасности, стационарные радио- и телевизионные передатчики, радиопередатчики подвижных объектов, а также различные промышленные электромагнитные источники.

В последние годы значительно увеличилось использование радиотелефонов и других радиочастотных излучающих устройств, действующих на частотах от 0,8 до 6 ГГц. Эти устройства во многих случаях используют методы модуляции с непостоянной огибающей, например TDMA (см. 5.2).

Кроме электромагнитной энергии, генерируемой намеренно, существуют излучения, создаваемые такими источниками, как сварочное оборудование, тиристорные регуляторы, люминесцентные источники света, переключатели, коммутирующие индуктивные нагрузки и т. д. Их воздействия проявляются в большинстве случаев, как кондуктивные помехи, и в качестве таковых рассматриваются в других частях серии стандартов IEC 61000-4. Методы, используемые для предотвращения влияния на оборудование электромагнитных полей, будут, как правило, также уменьшать эффекты воздействия излучений указанных выше источников.

Электромагнитная обстановка определяется напряженностью электромагнитного поля. Следует учитывать, что для измерения напряженности поля необходимо применение сложных измерительных приборов, а расчеты напряженности поля с использованием классических уравнений и формул затруднены из-за влияния окружающих структур или близости другого оборудования, которое будет искажать и/или отражать электромагнитные волны.

5 Испытательные уровни

Испытательные уровни приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Испытательные уровни, относящиеся к источникам общего применения, цифровым радиотелефонам и другим радиочастотным излучающим устройствам

Уровень	Напряженность испытательного поля, В/м
1	1
2	3
3	10
4	30
x[1)]	Специальная

[1)] *x* — открытый испытательный уровень, при котором соответствующая напряженность поля может иметь любое значение. Этот уровень может быть установлен в стандарте на продукцию.

В соответствии с настоящим стандартом в отдельных участках полной полосы частот испытаний допускается применение различных испытательных уровней. Технические комитеты по стандартизации, разрабатывающие стандарты на продукцию, должны установить общую полосу частот испытаний, а также применяемые степени жесткости испытаний для участков полосы частот. Рекомендации для технических комитетов по стандартизации по выбору испытательных уровней приведены в приложении Е.

В таблице 1 установлена напряженность поля немодулированного сигнала. При испытаниях оборудования сигнал должен быть модулирован по амплитуде при глубине модуляции 80 % синусоидальным сигналом частотой 1 кГц, для того чтобы воспроизвести реальные условия воздействия помех (см. рисунок 1). Детальные сведения о проведении испытаний приведены в разделе 8.

5.1 Испытательные уровни, относящиеся к общим задачам

Испытания, как правило, проводят в полосе частот от 80 до 1000 МГц без пропусков.

Примечание 1 — Технические комитеты по стандартизации, разрабатывающие стандарты на продукцию, могут установить переходную частоту между IEC 61000-4-3 и IEC 61000-4-6 выше или ниже частоты 80 МГц (см. приложение G).

Примечание 2 — Технические комитеты по стандартизации, разрабатывающие стандарты на продукцию, могут установить альтернативные схемы модуляции.

Примечание 3 — IEC 61000-4-6 также устанавливает методы испытаний для определения устойчивости электрического и электронного оборудования к излучаемой электромагнитной энергии. Этот стандарт охватывает частоты ниже 80 МГц.

5.2 Испытательные уровни, относящиеся к защите от радиочастотной эмиссии цифровых радиотелефонов и других радиочастотных излучающих устройств

Испытания, как правило, проводят в полосах частот от 800 до 960 МГц и от 1,4 до 6 ГГц.

Частоты или участки частот, выбираемые для испытаний, ограничивают с учетом рабочих частот реально действующих подвижных радиотелефонов и других радиочастотных источников излучений. Допускается проведение испытаний не во всей полосе частот от 1,4 до 6 ГГц. В пределах полос частот, используемых подвижными радиотелефонами и другими радиочастотными источниками излучений, могут быть применены различные испытательные уровни.

Если изделие должно соответствовать только требованиям, установленным в конкретной стране, полоса частот 1,4—6 ГГц, в которой проводят испытания, может быть уменьшена и ограничена значениями полосы частот, выделенной для цифровых радиотелефонов и других радиочастотных источников излучений, применяемых в данной стране. В этом случае решение о проведении испытаний в полосе частот, превышающей выделенную полосу, должно быть отражено в протоколе испытаний.

Примечание 1 — В приложении А приведены обоснования выбора модуляции синусоидальным сигналом при испытаниях, относящихся к защите от радиочастотной эмиссии от цифровых радиотелефонов и других радиочастотных источников излучений.

Примечание 2 — В приложении Е приведены рекомендации для технических комитетов по стандартизации, разрабатывающих стандарты на продукцию, по выбору испытательных уровней.

Примечание 3 — Диапазоны измерений, указанные в таблице 1, применимы в основном в полосах частот, выделяемых для цифровых радиотелефонов (в приложении G приведен перечень известных частот цифровых радиотелефонов конкретных типов, выделенных на время разработки настоящего стандарта).

Примечание 4 — На частотах свыше 800 МГц опасность нарушения функционирования оборудования связана главным образом с радиотелефонными системами и другими намеренно излучающими радиочастотными источниками, имеющими мощность, эквивалентную мощности радиотелефонных систем. Другие системы, работающие на частотах свыше 800 МГц, например локальные сети, использующие радиосредства на частотах 2,4 ГГц или выше, имеют в основном крайне малую мощность (как правило, менее 100 мВт) и поэтому маловероятно, чтобы они вызывали серьезные проблемы.

6 Испытательное оборудование

Для испытаний на устойчивость к излучаемому радиочастотному электромагнитному полю рекомендуются следующие средства испытаний:

- безэховая камера, размеры которой должны обеспечить достаточную область однородного поля применительно к ИО. Для подавления отражений в полубезэховых камерах могут быть применены дополнительные поглощающие материалы;

- помехоподавляющие фильтры, которые не должны вызывать дополнительных резонансных явлений в соединительных линиях;

- генератор(ы) радиочастотных сигналов, обеспечивающий(е) перекрытие полосы частот, представляющей интерес, и амплитудную модуляцию сигнала синусоидальным напряжением частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %.

Генератор(ы) должен(ны) иметь ручное управление (частотой, амплитудой сигнала и глубиной модуляции) или в случае применения радиочастотных синтезаторов должна быть обеспечена программируемая шаговая перестройка частоты с установлением частотно-зависимого шага перестройки и возможности задержки на каждой частоте. Генератор(ы) должен(ны) быть оборудованы ручной перестройкой частоты, амплитуды сигнала и глубины модуляции.

При необходимости для исключения проблем, связанных с гармоническими составляющими, может быть необходимо применение фильтров низких частот или полосовых фильтров;

- усилители мощности, предназначенные для усиления радиочастотного сигнала (немодулированного и модулированного) и обеспечения создания излучающей антенной испытательного поля необходимой напряженности. Уровень гармоник, вносимых усилителем мощности, должен быть таким, чтобы на каждой частоте гармоники любой измеренный уровень напряженности поля в плоскости однородного поля (UFA) был по крайней мере на 6 дБ ниже напряженности поля основной составляющей (см. приложение D);

- излучающие антенны (см. приложение В): биконические, логопериодические рупорные или другие антенны с линейной поляризацией, соответствующие требованиям к полосе частот испытаний;

- изотропная антенна (датчик поля) для измерения напряженности поля, включающая в себя усилитель и электронно-оптический преобразователь, обладающие достаточной устойчивостью к воздействию измеряемого поля, а также волоконно-оптическую линию для связи с индикатором, установленным вне безэховой камеры (при соответствующих экранировании и фильтрации допускается использование кабельной линии). Метод калибровки датчиков Е-поля приведен в приложении I;

- вспомогательное оборудование для регистрации необходимых уровней мощности сигнала, обеспечивающих создание испытательного поля заданной напряженности, и для управления созданием указанного поля в процессе испытаний. Особое внимание должно быть уделено обеспечению помехоустойчивости вспомогательного оборудования, применяемого при испытаниях.

6.1 Описание испытательного оборудования

Учитывая значение напряженности генерируемого поля, испытание должно проводиться в экранированном помещении, с тем чтобы соответствовать различным национальным и международным регламентам об исключении помех радиосвязи. Кроме того, экранированное помещение позволяет исключить влияние испытательного поля на вспомогательное оборудование, учитывая, что большинство образцов оборудования для сбора, регистрации и отображения результатов измерений восприимчиво к внешнему полю, генерируемому в процессе испытаний на помехоустойчивость. Должны быть приняты меры к тому, чтобы соединительные кабели, входящие в экранированное помещение и выходящие из него, адекватно ослабляли кондуктивную и излучаемую электромагнитную эмиссию и сохраняли целостность сигналов ИО и параметров мощности поля.

Типичная испытательная установка включает в себя экранированное помещение, внутренние поверхности которого покрыты радиопоглощающим материалом, размерами, позволяющими разместить ИО и обеспечить соответствующее управление напряженностью испытательного поля. Применяют безэховые камеры или модифицированные полубезэховые камеры (пример приведен на рисунке 2). В присоединенных дополнительных экранированных помещениях должно быть размещено оборудование, обеспечивающее генерирование высокочастотных сигналов, проведение измерений и контроль функционирования ИО.

Безэховые камеры менее эффективны на низких частотах. Особое внимание должно быть уделено обеспечению однородности испытательного поля на низких частотах. Дополнительные рекомендации приведены в приложении С.

6.2 Калибровка поля

Цель калибровки заключается в том, чтобы однородность испытательного электромагнитного поля, воздействующего на ИО, была достаточной для обеспечения достоверности результатов испытаний.

IEC 61000-4-3 основывается на использовании концепции плоскости однородного поля (UFA) (см. рисунок 3), которая представляет собой гипотетическую вертикальную плоскость поля, в которой изменения напряженности испытательного электромагнитного поля находятся в заданных пределах. При обычной процедуре калибровки поля демонстрируется способность испытательной установки и испытательного оборудования генерировать такое поле. Одновременно получают совокупность значений параметров испытательного оборудования, позволяющих провести испытания оборудования на помехоустойчивость. Калибровку считают действительной для ИО всех видов, стороны которых, подвергаемые воздействию испытательного поля (включая соединительные кабели), могут быть полностью покрыты плоскостью однородного поля.

Калибровку поля проводят в отсутствие ИО (см. рисунок 3). При калибровке определяют зависимость между напряженностью поля в пределах плоскости однородного поля и мощностью сигнала, подаваемого на излучающую антенну. В процессе испытаний значение мощности сигнала, который должен быть подан на излучающую антенну на каждой частоте испытаний, рассчитывают с использованием этой зависимости и значений напряженности поля, соответствующих установленному испытательному уровню. Калибровка поля действительна при условии идентичности параметров испытательной установки при калибровке поля и проведении испытаний. Поэтому значения параметров испытательной установки (относящихся к излучающей антенне, усилителю, дополнительным поглощающим материалам, кабелям) должны быть зафиксированы. Важно зафиксировать точные положения излучающих

антенн и кабелей (насколько это практически возможно). При проведении испытаний антенны и кабели должны быть размещены так же, как и при калибровке поля. Незначительные их смещения оказывают существенное влияние на испытательное поле.

Установлено, что полную калибровку испытательного поля следует проводить один раз в год, а также при каждом внесении изменений в конфигурацию безэховой камеры (перемещении радиопоглощающего материала, изменении состава оборудования и т. д.). Перед каждой группой испытаний необходимо проводить проверку калибровки испытательного поля (см. раздел 8).

Излучающую антенну размещают на таком расстоянии от ИО, чтобы калибруемая плоскость однородного поля находилась в главном лепестке диаграммы направленности антенны. Датчик поля должен быть расположен на расстоянии не менее 1 м от излучающей антенны. Предпочтительное расстояние между излучающей антенной и плоскостью однородного поля должно быть 3 м. Это расстояние отсчитывают от центра биконической антенны, конца логопериодической антенны и плоскости раскрыва рупорной или волноводной антенны. Расстояние между излучающей антенной и плоскостью однородного поля должно быть указано в отчете об испытаниях и в протоколе калибровки.

Размеры плоскости однородного поля с ее нижним краем, установленным на высоте 0,8 м над полом, должны быть по меньшей мере 1,5 × 1,5 м, за исключением случаев, когда ИО и соединительные кабели могут быть полностью «освещены» при использовании плоскости однородного поля меньших размеров. Минимальные размеры плоскости однородного поля должны быть 0,5 × 0,5 м.

Лицевая сторона ИО, подвергаемого воздействию испытательного поля, должна совпадать с плоскостью однородного поля (см. рисунки 5 и 6).

Для установления жесткости испытаний ИО и соединительных кабелей, которые должны быть испытаны при близости к полу (опорной пластине заземления), напряженность поля должна быть дополнительно зафиксирована на высоте 0,4 м. Полученные данные документируют в протоколе калибровки, но не учитывают при оценке пригодности испытательной установки и в базе данных калибровки.

Из-за отражений от пола в полубезэховой камере трудно установить плоскость однородного поля вблизи опорной пластины заземления. Для решения этой проблемы размещают на пластине заземления дополнительный радиопоглощающий материал (см. рисунок 2).

Измерение напряженности поля в плоскости однородного поля проводят в точках измерительной сетки, разнесенных друг от друга на расстояние 0,5 м (см. рисунок 4, представляющий собой пример плоскости однородного поля размерами 1,5 × 1,5 м). Испытательное поле считают однородным, если на каждой частоте измерений его напряженность, измеряемая в плоскости однородного поля для 75 % поверхности (например, в 12 точках измерения из 16 для плоскости однородного поля размерами 1,5 × 1,5 м), находится в пределах от 0 до плюс 6 дБ от заданного значения. Для минимальных размеров плоскости однородного поля 0,5 × 0,5 м отклонения измеренной напряженности поля в четырех точках калибровочной сетки от заданного значения должны быть в указанных выше пределах.

Примечание 1 — Для различных частот в пределах указанных отклонений могут находиться результаты измерений, полученные в различных точках измерительной сетки.

Отклонение от 0 до плюс 6 дБ установлено с тем, чтобы напряженность поля не была ниже номинальной с приемлемой вероятностью. Значение 6 дБ выбрано как минимально достижимое для практически применяемых средств испытаний.

На частотах испытаний менее 1 ГГц допускают отклонение более плюс 6 дБ, но не более плюс 10 дБ для 3 % частот, проверяемых при испытаниях (отклонение менее 0 дБ не допускается). При этом значения отклонений должны быть отражены в отчете об испытаниях. В случае расхождений результатов испытаний, полученных при различных отклонениях напряженности поля, преимущество имеют результаты испытаний, полученные при отклонениях от 0 до плюс 6 дБ.

В случае если лицевая сторона ИО, подвергаемая воздействию поля, имеет размеры более 1,5 × 1,5 м и метод применения плоскости однородного поля достаточных размеров (предпочтительный метод облучения) не может быть применен, ИО облучают в серии испытаний с применением метода частичного облучения.

Для применения метода частичного облучения:

- калибровку испытательного поля допускается проводить при различных положениях излучающей антенны, с тем чтобы обеспечить покрытие всей лицевой поверхности ИО плоскостью однородного поля в серии испытаний. Испытания ИО в этом случае следует проводить при последовательном расположении антенны в каждом из этих положений;
- ИО допускается перемещать при испытаниях так, чтобы каждая часть его лицевой поверхности находилась в пределах плоскости однородного поля во время, как минимум, одного из испытаний.

Примечание 2 — При размещении антенны в каждом из выбранных положений должна быть проведена полная калибровка испытательного поля.

Концепции полного и частичного облучения, а также их применимость и способы применения показаны в таблице 2.

Таблица 2 — Требования к плоскости однородного поля для применения методов полного облучения, частичного облучения и независимых окон

Частота испытаний	Требования к размерам и калибровке плоскости однородного поля	
	Лицевая сторона ИО полностью покрыта плоскостью однородного поля (предпочтительный метод полного облучения)	Лицевая сторона ИО не покрыта полностью плоскостью однородного поля (альтернативные методы частичного облучения и независимых окон)
Менее 1 ГГц	Минимальные размеры плоскости однородного поля должны быть 0,5 × 0,5 м. Размеры плоскости однородного поля определяются числом точек калибровочной сетки, отстоящих друг от друга на 0,5 м (т. е. должны быть: 0,5 × 0,5 м; 0,5 × 1,0 м; 1,0 × 1,0 м и т. д.). Для плоскости однородного поля размерами более 0,5 × 0,5 м напряженность поля в 75 % точек измерения должна находиться в установленных пределах. Для плоскости однородного поля размерами 0,5 × 0,5 м напряженность поля во всех точках измерения должна находиться в установленных пределах	Применяют метод частичного облучения. Минимальные размеры плоскости однородного поля должны быть 1,5 × 1,5 м. Размеры плоскости однородного поля определяются числом точек калибровочной сетки, отстоящих друг от друга на 0,5 м (т. е. должны быть: 1,5 × 1,5 м; 1,5 × 2,0 м; 2,0 × 2,0 м и т. д.). Напряженность поля 75 % точек измерения должна находиться в установленных пределах
Свыше 1 ГГц	Минимальные размеры плоскости однородного поля должны быть 0,5 × 0,5 м. Размеры плоскости однородного поля определяются числом точек калибровочной сетки, отстоящих друг от друга на 0,5 м (т. е. должны быть: 0,5 × 0,5 м; 0,5 × 1,0 м; 1,0 × 1,0 м и т. д.). Для плоскости однородного поля размерами более 0,5 × 0,5 м напряженность поля 75 % точек измерения должна находиться в установленных пределах. Для плоскости однородного поля размерами 0,5 × 0,5 м напряженность поля во всех точках измерения должна находиться в установленных пределах	Применяют методы частичного облучения и независимых окон. При применении метода независимых окон размер окна должен быть 0,5 × 0,5 м (см. приложение Н). При применении метода частичного облучения: - минимальные размеры плоскости однородного поля должны быть 1,5 × 1,5 м; - размеры плоскости однородного поля определяются числом точек калибровочной сетки, отстоящих друг от друга на 0,5 м (т. е. должны быть: 1,5 × 1,5 м; 1,5 × 2,0 м; 2,0 × 2,0 м и т. д.); - напряженность поля 75 % точек измерения должна находиться в установленных пределах

Если в полосе частот свыше 1 ГГц требования настоящего подраздела могут быть выполнены только на частотах не выше конкретной частоты, например если ширина диаграммы направленности излучающей антенны недостаточна для облучения всей поверхности ИО, то для более высоких частот применяют метод независимых окон по приложению Н.

Калибровку поля в безэховых и полубезэховых камерах, как правило, проводят с помощью измерительной установки, представленной на рисунке 7. Калибровку всегда следует проводить при немодулированной несущей для горизонтальной и вертикальной поляризаций испытательного поля в соответствии со значением шага изменения частоты, указанным ниже. Значение напряженности поля при калибровке должно быть по крайней мере в 1,8 раза больше значения напряженности поля, которое будет воздействовать на оборудование при проведении испытаний, чтобы обеспечить прохождение через усилители модулированного сигнала в отсутствие насыщения.

Если обозначить напряженность поля при калибровке E_c, то напряженность испытательного поля E_t не должна превышать E_c /1,8.

Примечание — Могут быть использованы другие методы предотвращения насыщения.

Ниже приведены два разных метода калибровки испытательного поля. В качестве примера рассматривается измерительная сетка, состоящая из 16 точек измерения (размеры плоскости однородного поля 1,5 × 1,5 м). При правильном применении оба метода обеспечивают одинаковую однородность испытательного поля.

6.2.1 Метод калибровки при постоянной напряженности поля

Постоянную напряженность испытательного поля в плоскости однородного поля устанавливают с использованием калиброванной измерительной антенны (датчика) последовательно на каждой из частот в каждой из 16 точек измерительной сетки (см. рисунок 4), используя значение шага частоты, указанное в разделе 8, путем соответствующего регулирования мощности сигнала, подаваемого на излучающую антенну.

Мощность сигнала, подаваемого на излучающую антенну, измеряют с помощью установки, показанной на рисунке 7. Калибровку проводят при горизонтальной и вертикальной поляризациях испытательного поля. Значения подаваемой мощности, в децибелах (милливаттах) регистрируют в 16 точках измерения.

Процедура калибровки заключается в следующем:

a) антенну (датчик) для измерения напряженности поля размещают в одной из 16 точек измерительной сетки (см. рисунок 4) и устанавливают минимальную частоту испытательного сигнала в полосе частот, установленной для испытаний (например, 80 МГц);

b) подают на излучающую антенну сигнал такой мощности, чтобы полученная напряженность поля была равна требуемой напряженности поля при калибровке E_c.

Значение подаваемой мощности регистрируют;

c) увеличивают частоту испытательного сигнала генератора на 1 % предыдущего значения частоты;

d) повторяют шаги по перечислениям b) и c) до тех пор, пока следующая частота не превысит верхнего значения полосы частот, установленной для испытаний. Затем повторяют процедуру по перечислению b) на частоте, равной верхнему значению полосы частот испытаний (например, 1 ГГц);

e) повторяют перечисления a)—d) для каждой из оставшихся 15 точек измерительной сетки.

На каждой частоте:

f) распределяют 16 значений подаваемой на антенну мощности в порядке возрастания;

g) проверяют, начиная с наибольшего значения подаваемой мощности, находятся ли отклонения 11 меньших значений в пределах от минус 6 до 0 дБ относительно наибольшего значения;

h) если отклонения не находятся в пределах от минус 6 до 0 дБ относительно наибольшего значения, последовательно повторяют процедуру по перечислению g), начиная со следующего уменьшенного значения подводимой мощности (следует иметь в виду, что для каждой частоты имеется пять возможностей проведения данной процедуры);

i) прекращают процедуру, если не менее 12 значений подводимой мощности находятся в пределах отклонений от минус 6 до 0 дБ, и отмечают среди них максимальное значение мощности P_c;

j) проверяют отсутствие насыщения усилителя мощности. Принимая значение E_c равным $1{,}8E_t$, проводят на каждой частоте измерений следующие действия:

j-1) уменьшают напряжение генератора сигналов на 5,1 дБ по сравнению со значением, при котором подаваемая мощность равна значению P_c, отмеченным при проведении процедур по перечислениям, указанным выше (уменьшение на 5,1 дБ соответствует уменьшению E_c в 1,8 раза);

j-2) записывают значение мощности, подаваемой на излучающую антенну при уменьшении выходного напряжения генератора сигналов на 5,1 дБ;

j-3) вычитают значение подаваемой мощности, определенное в соответствии с перечислением j-2) из значения P_c. Если полученная разность находится в пределах от 3,1 до 5,1 дБ, считают, что насыщение усилителя мощности отсутствует. Если полученная разность менее 3,1 дБ, то усилитель находится в режиме насыщения, и испытательная установка непригодна для проведения испытаний.

Примечание 1 — Если на конкретной частоте соотношение между напряженностью калиброванного поля E_c и испытательного поля E_t составляет R, дБ, где $R = 20 \lg (E_c/E_t)$, то при испытаниях на излучающую антенну должна подаваться мощность $P_t = P_c - R$ (дБ). Индексы c и t относятся к калибровке и испытаниям соответственно. При испытаниях сигнал модулируют в соответствии с разделом 8.

Пример калибровки при постоянной напряженности поля приведен в D.4.1 приложения D.

Примечание 2 — Необходимо гарантировать, что на каждой частоте усилитель не находится в режиме насыщения. Наилучшим образом это может быть проверено компрессией усилителя 1 дБ. Однако компрессию усилителя 1 дБ проверяют при нагрузке усилителя 50 Ом, тогда как полное сопротивление антенны, используемой при испытаниях, отлично от 50 Ом. Поэтому отсутствие насыщения испытательной системы гарантируется проверкой точки компрессии 2 дБ в соответствии с перечислением j). Детальные сведения см. в приложении D.

6.2.2 Метод калибровки при постоянной подводимой мощности

Напряженность однородного поля устанавливают и измеряют с использованием калиброванной антенны (датчика) последовательно на каждой частоте в каждой из 16 точек измерительной сетки (см. рисунок 4), используя значение шага частоты, указанное в разделе 8, путем соответствующего регулирования подводимой к излучающей антенне мощности.

Подводимую мощность, необходимую для установления напряженности поля в начальной точке, измеряют в соответствии с рисунком 7 и ее значение регистрируют. То же значение подводимой мощности устанавливают для всех 16 точек. Полученные значения напряженности поля регистрируют в каждой из 16 точек.

Калибровку проводят при горизонтальной и вертикальной поляризациях испытательного поля.

Процедура калибровки заключается в следующем:

a) антенну (датчик) для измерения напряженности поля размещают в одной из 16 точек измерительной сетки (см. рисунок 4) и устанавливают минимальную частоту испытательного сигнала в полосе частот, установленной для испытаний (например, 80 МГц);

b) подают на излучающую антенну сигнал такой мощности, чтобы полученная напряженность поля была равна требуемой при калибровке напряженности поля E_c (следует иметь в виду, что при создании испытательного поля сигнал должен быть модулирован). Значения подводимой мощности и напряженности поля регистрируют;

c) увеличивают частоту испытательного сигнала генератора на 1 % предыдущего значения частоты;

d) повторяют перечисления b) и c) до тех пор, пока следующая частота не превысит верхнего значения полосы частот, установленной для испытания. Затем повторяют процедуру по перечислению b) на частоте, равной верхнему значению испытательной полосы частот (например, 1 ГГц);

e) передвигают измерительную антенну (датчик) в другое положение измерительной сетки. Для каждой из частот, применяемых в шагах по перечислениям a)–d), подают на излучающую антенну сигнал, мощность которого была зарегистрирована в перечислении b). Значение напряженности поля при этой подводимой мощности регистрируют;

f) повторяют действия по перечислению e) для каждой точки измерительной сетки.

На каждой частоте:

g) распределяют 16 значений напряженности поля в порядке возрастания;

h) выбирают одно значение напряженности поля в качестве исходного и рассчитывают отклонения от этого исходного значения всех других значений в децибелах;

i) проверяют, начиная с наименьшего значения напряженности поля, находятся ли отклонения 11 больших значений в пределах от 0 до плюс 6 дБ относительно наименьшего значения;

j) если отклонения не находятся в пределах от 0 до плюс 6 дБ относительно наименьшего значения, последовательно повторяют процедуру по перечислению i), начиная со следующего увеличенного значения подводимой мощности (следует иметь в виду, что для каждой частоты имеется пять возможностей проведения данной процедуры);

k) прекращают процедуру, если не менее 12 значений напряженности поля находятся в пределах отклонений от 0 до плюс 6 дБ, и отмечают позицию, соответствующую минимальному значению напряженности поля;

l) рассчитывают мощность подаваемого сигнала P_c, необходимую для установления напряженности поля в позиции, установленной в соответствии с перечислением l);

m) проверяют отсутствие насыщения усилителя мощности. Принимая значение E_c равным $1{,}8E_t$, проводят на каждой частоте измерений следующие действия:

m-1) уменьшают выходное напряжение генератора сигналов на 5,1 дБ в сравнении со значением, при которой подаваемая мощность равна значению P_c, установленным в соответствии с перечислениями, указанными выше (уменьшение на 5,1 дБ соответствует уменьшению E_c в 1,8 раза);

m-2) записывают значение мощности, подаваемой на излучающую антенну при уменьшении выходного напряжения генератора сигналов, на 5,1 дБ;

m-3) вычитают значение подаваемой мощности, определенное в соответствии с перечислением m-2), из значения P_c. Если полученная разность находится в пределах от 3,1 до 5,1 дБ, считают, что насыщение усилителя мощности отсутствует. Если полученная разность менее 3,1 дБ, то усилитель находится в режиме насыщения, и испытательная установка непригодна для проведения испытаний.

Примечание 1 — Если соотношение между напряженностью калиброванного поля E_c и испытательного поля E_t составляет R (дБ), где $R = 20 \lg (E_c/E_t)$, то при испытаниях на излучающую антенну должна подаваться мощность $P_t = P_c - R$ (дБ). Индексы c и t относятся к калибровке и испытаниям соответственно. При испытаниях сигнал модулируют в соответствии с разделом 8.

Пример калибровки при постоянной напряженности поля приведен в D.4.2 приложения D.

Примечание 2 — Необходимо гарантировать, что на каждой частоте усилитель не находится в режиме насыщения. Наилучшим образом это может быть проверено компрессией усилителя 1 дБ. Однако компрессию усилителя 1 дБ проверяют при нагрузке усилителя 50 Ом, тогда как полное сопротивление антенны, используемой при испытаниях, отлично от 50 Ом. Поэтому отсутствие насыщения испытательной системы гарантируется проверкой точки компрессии 2 дБ в соответствии с перечислением j). Детальные сведения см. в приложении D.

Некоторые усилители показывают отклонения, большие 5,1 дБ, и вместе с тем не создают каких-либо проблем при проведении испытаний. Такое их функционирование вызывается особым принципом действия (прежде всего это касается усилителей, использующих приборы бегущей волны). На рисунках 1 (IS 1) и 2 (IS 1) показаны некоторые результаты измерений, полученные с полупроводниковым усилителем, а также с усилителем на приборе бегущей волны.

Поэтому текст, приведенный в перечислениях j-3) и m-3), к сожалению, не дает ясных указаний на применимость этих усилителей.

После обсуждения на XX конференции SC 77B/WG10 22—26 октября 2007 г. эксперты WG10 единогласно выразили мнение, что текст в перечислениях j-3) и m-3) следует интерпретировать таким образом, что усилиители, показывающие отклонения, большие 5,1 дБ, пригодны для испытаний. Таким образом, усилители, имеющие характеристики, представленные на рисунках 1 (IS 1) и 2 (IS 1), допускаются для проведения испытаний по IEC 61000-4-3.

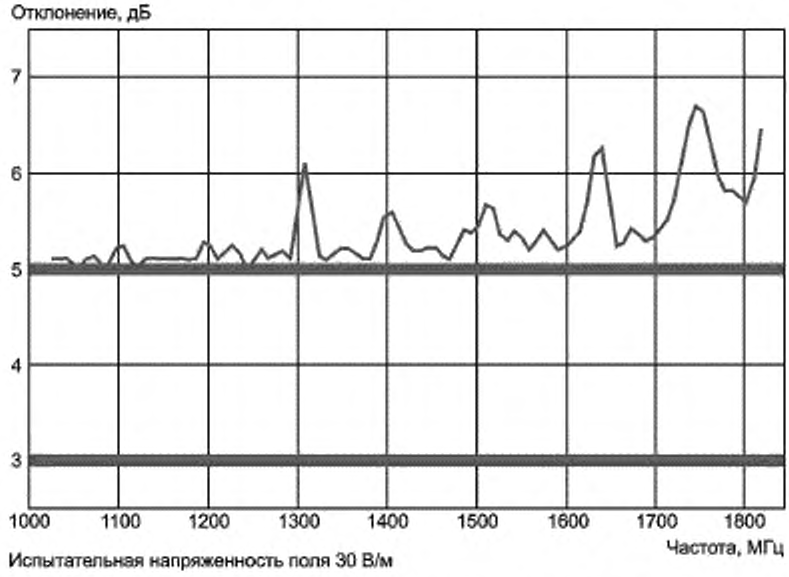


Рисунок 1 (IS 1) — Отклонения по шагу j-3 для усилителя мощностью 200 Вт с прибором бегущей волны

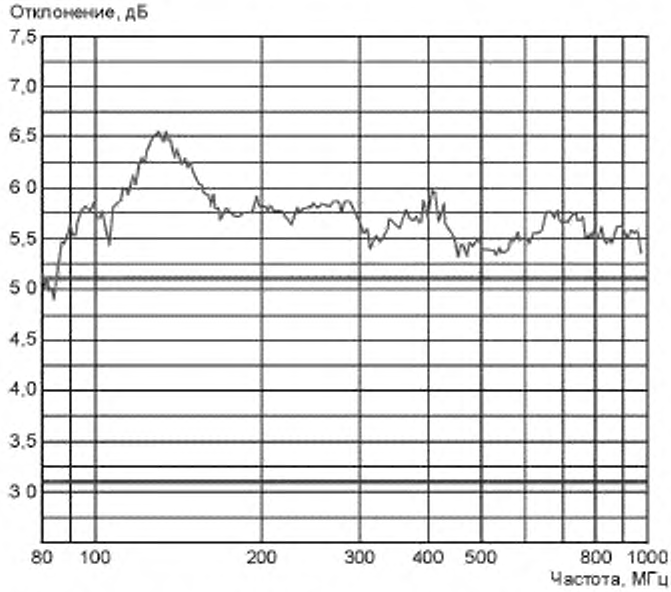


Рисунок 2 (IS 1) — Отклонения по шагу j-3 для полупроводникового усилителя (IS 1, 2008)

7 Испытательная установка

ИО испытывают в конфигурации, максимально приближенной к используемой в условиях эксплуатации. Кабели, подключаемые к ИО, должны быть проложены в соответствии с техническими документами на ИО конкретного вида. Испытания проводят при установке оборудования в штатных корпусах, с заглушками и откидными панелями в закрытом состоянии, если иные требования не установлены в стандартах на оборудование конкретного вида. Если оборудование предназначено для установки на приборной панели, в стойке или в шкафу, его размещение при испытаниях должно быть таким же.

Металлическая пластина заземления не требуется.

Если необходимы средства для крепления ИО, то их изготовляют из неметаллических и непроводящих материалов. Заземление корпусов оборудования должно быть выполнено в соответствии с требованиями изготовителя оборудования.

Относительное расположение напольных и настольных частей оборудования должно быть сохранено при испытаниях.

Типовые испытательные установки приведены на рисунках 5 и 6.

Примечание 1 — Использование непроводящих подставок исключает возможность случайного заземления ИО и искажения испытательного поля. Применение в качестве непроводящих подставок металлических конструкций с изоляционным покрытием не допускается.

Примечание 2 — На частотах выше 1 ГГц столы или непроводящие подставки из дерева или стеклопластика могут отражать электромагнитные волны. Для предотвращения нарушений однородности поля необходимо применять материалы с низким значением диэлектрической постоянной, например полистирол.

7.1 Расположение настольного оборудования

Настольное оборудование должно быть установлено на столе из непроводящего материала высотой 0,8 м.

К ИО подключают линии передачи сигналов и линии электропитания в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

7.2 Расположение напольного оборудования

Напольное оборудование должно быть установлено на непроводящей подставке толщиной от 0,05 до 0,15 м. Напольное оборудование, которое может быть установлено на платформе из непроводящего

материала высотой 0,8 м, т. е. изделия, не являющиеся слишком громоздкими или тяжелыми, поднятие которых не нарушает требований безопасности, испытывают при размещении его на высоте 0,8 м, если это условие специально регламентировано в стандарте на оборудование конкретного вида. Указанное изменение метода испытаний должно быть отражено в отчете об испытаниях.

Примечание — В качестве подставки толщиной от 0,05 до 0,15 м могут быть использованы ролики из непроводящего материала.

К ИО подключают линии передачи сигналов и линии электропитания в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

7.3 Расположение кабелей

Кабели должны быть подключены к ИО и расположены при испытаниях в соответствии с инструкциями по эксплуатации изготовителя и должны в максимально возможной степени соответствовать типичной установке.

Следует использовать установленные изготовителем типы кабелей и соединителей. Если расположение и типы подключаемых к оборудованию кабелей не установлены в технических документах на оборудование конкретного вида, при испытаниях применяют неэкранированные параллельно проложенные проводники.

Если в соответствии со спецификациями изготовителя длина каждого соединительного кабеля не превышает 3 м, при испытаниях применяют кабели длиной, установленной в данных технических документах.

Если в соответствии с техническими документами на оборудование конкретного вида длина каждого кабеля превышает 3 м или не установлена, принимают меры к тому, чтобы длина подключаемых кабелей соответствовала типичным условиям установки.

Если возможно, длина подвергаемых воздействию поля частей кабелей (проводников), подключенных к ИО, должна быть 1 м. Излишек длины кабелей соединений блоков ИО свертывают в петли длиной 30—40 см приблизительно в середине кабеля.

Если технический комитет по стандартизации устанавливает необходимость развязки излишка длины кабеля (например, для кабелей, выходящих за пределы зоны испытаний), то используемый метод развязки не должен нарушать функционирование ИО.

7.4 Расположение оборудования, устанавливаемого на теле человека

Оборудование, устанавливаемое на теле человека (см. определение 3.13), испытывают как настольное оборудование. Однако при этом жесткость испытаний может в ряде случаев оказаться чрезмерно высокой или недостаточной, т. к. при этом не учитываются характеристики тела человека. В связи с этим технические комитеты по стандартизации, разрабатывающие стандарты на ИО конкретного вида, должны регламентировать использование имитаторов человеческого тела с соответствующими диэлектрическими характеристиками.

8 Процедура испытания

Процедура испытания включает в себя:
- проверку лабораторных опорных условий;
- предварительную проверку правильности функционирования оборудования;
- проведение испытания;
- оценку результатов испытания.

8.1 Лабораторные опорные условия

Чтобы минимизировать влияние параметров окружающей среды на результаты испытаний, испытания должны быть проведены в климатических и электромагнитных опорных условиях, как установлено в 8.1.1 и 8.1.2.

8.1.1 Климатические условия

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

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

Примечание — Если существуют достаточные основания считать, что явление, относящееся к области применения настоящего стандарта, вызывается климатическими условиями, то данные сведения должны быть приняты во внимание техническим комитетом, ответственным за разработку настоящего стандарта.

8.1.2 Электромагнитная обстановка

Электромагнитные условия в лаборатории должны гарантировать правильное функционирование ИО, исключающее влияние на результаты испытаний.

8.2 Проведение испытания

Испытание проводят в соответствии с планом испытаний, который должен включать в себя проверку функционирования ИО в соответствии с техническими документами изготовителя.

ИО испытывают в нормальных рабочих условиях.

План испытаний должен устанавливать:

- размеры ИО;
- представительные режимы функционирования ИО;
- размещение ИО при испытаниях (напольное, настольное или комбинацию указанных видов размещения);
- типы используемых средств испытаний и положения излучающих антенн;
- типы излучающих антенн;
- полосу частот испытаний, значения шага перестройки и времени задержки на каждой частоте;
- размер и форму плоскости однородного поля;
- использование любого частичного облучения;
- применяемые испытательные уровни;
- типы и число соединительных кабелей и разъемы ИО, к которым они должны быть подключены;
- применяемые критерии качества функционирования;
- описание метода оценки качества функционирования ИО.

Процедуры испытания, установленные в настоящем разделе, соответствуют применению излучающей антенны и модифицированной полубезэховой камеры, как указано в разделе 6.

Перед проведением испытания проверяют установленную при калибровке напряженность испытательного поля. После проверки калибровки создают испытательное поле с использованием параметров испытательного оборудования, полученных при калибровке (см. 6.2).

ИО вначале размещают так, чтобы одна из его сторон совпадала с плоскостью однородного поля. Если сторона ИО не покрывается плоскостью однородного поля, применяют метод частичного облучения. См. 6.2 в отношении калибровки поля и использования частичного облучения.

Частоту сигнала, подаваемого на излучающую антенну, перестраивают в рассматриваемой полосе частот при амплитудной модуляции синусоидальным сигналом частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %. Подачу сигнала на излучающую антенну прекращают при регулировании уровня сигнала, переключении генераторов сигналов и применяемых антенн.

В случае шаговой перестройки частоты значение шага перестройки частоты не должно превышать 1 % основной частоты.

Время воздействия испытательного поля на ИО на каждой частоте должно быть не менее времени, необходимого для воздействия на ИО и проверки его реакции на это воздействие, но не менее 0,5 с. Частоты ожидаемой повышенной восприимчивости ИО к помехе должны быть проанализированы отдельно (например, тактовые частоты, анализируемые в соответствии с требованиями стандарта на продукцию). При испытании обычно проводят облучение излучающей антенной каждой из четырех сторон ИО. Если ИО эксплуатируют в вертикальном и горизонтальном положениях, испытания проводят при облучении всех сторон ИО. С учетом особенностей эксплуатации ИО облучению могут быть подвергнуты отдельные стороны ИО. В других обоснованных случаях с учетом типов и размеров ИО облучение допускается проводить более чем с четырех сторон.

Примечание 1 — При увеличении размеров ИО усложняется форма диаграммы направленности излучающей антенны, что может потребовать ориентации антенны в различных положениях для определения минимальной помехоустойчивости ИО.

Примечание 2 — Если ИО состоит из нескольких элементов, их взаимное расположение при испытаниях должно быть сохранено при облучении ИО с разных сторон.

Облучение каждой из сторон ИО проводят при двух поляризациях испытательного поля (при вертикальном и горизонтальном расположениях излучающей антенны соответственно).

При испытании необходимо обеспечить функционирование ИО во всех режимах (по возможности) и детально проверить выбранные режимы функционирования, обеспечивающие пониженную устойчивость ИО к воздействию электромагнитного поля.

Рекомендуется применять при испытании специальное тестовое программное обеспечение.

9 Оценка результатов испытаний

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

Рекомендуется следующая классификация:

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

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

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

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

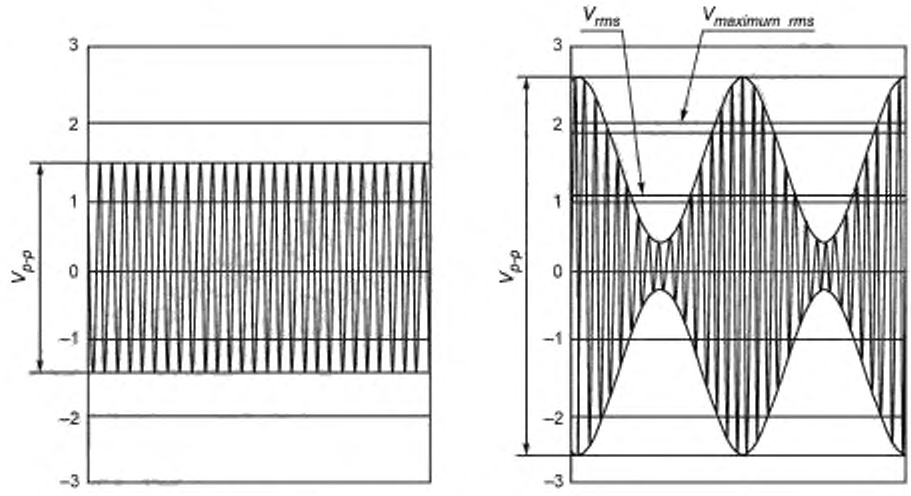
В технической документации изготовителя могут быть установлены воздействия на ИО, которые могут рассматриваться как незначительные, и следовательно, допустимые.

Данная классификация может быть использована в качестве руководства при определении критериев качества функционирования техническими комитетами, ответственными за разработку общих стандартов и стандартов на продукцию и группы однородной продукции, или в качестве основы для соглашения о критериях качества функционирования между изготовителем и покупателем, если, например, не существует применимого общего стандарта, стандарта на продукцию или стандарта на группу однородной продукции.

10 Отчет об испытаниях

Отчет об испытаниях должен содержать все сведения, необходимые для воспроизведения испытания. В частности, должно быть отражено следующее:

- пункты, установленные в плане испытаний, как указано в разделе 8 настоящего стандарта;
- идентификация ИО и любого связанного с ним оборудования, например фабричная марка, тип продукции, серийный номер;
- идентификация испытательного оборудования, например фабричная марка, тип продукции, серийный номер;
- любые особые условия обстановки, в которой было проведено испытание, например экранированное помещение;
- любые особые условия, сделавшие возможным проведение испытания;
- уровень качества функционирования, установленный изготовителем, заказчиком испытания или покупателем;
- критерий качества функционирования, установленный в общем стандарте, стандарте на продукцию или в стандарте на группу однородной продукции;
- любые воздействия на ИО при испытании, наблюдаемые в течение и после прекращения воздействия помехи и длительность наблюдения этих воздействий;
- обоснование решения «проходит/не проходит» (основанное на критерии качества функционирования, установленном в общем стандарте, стандарте на продукцию или на группу однородной продукции, или в соглашении между изготовителем и покупателем;
- любые особые условия использования, например длина или тип кабеля, экранирование или заземление, рабочие условия, которые необходимы для достижения соответствия;
- полное описание прокладки кабелей и расположения и ориентации оборудования; в некоторых случаях для этого допустимо включение графического материала.



a) Немодулированный радиочастотный сигнал
V_{p-p} = 2,8 В;
V_{rms} = 1,0 В

b) Модулированный радиочастотный сигнал при глубине модуляции 80 %
V_{p-p} = 5,1 В;
V_{rms} = 1,15 В
$V_{maximum\ rms}$ = 1,8 В

Рисунок 1 — Определение испытательного уровня и формы колебаний на выходе генератора сигналов

Размеры в метрах

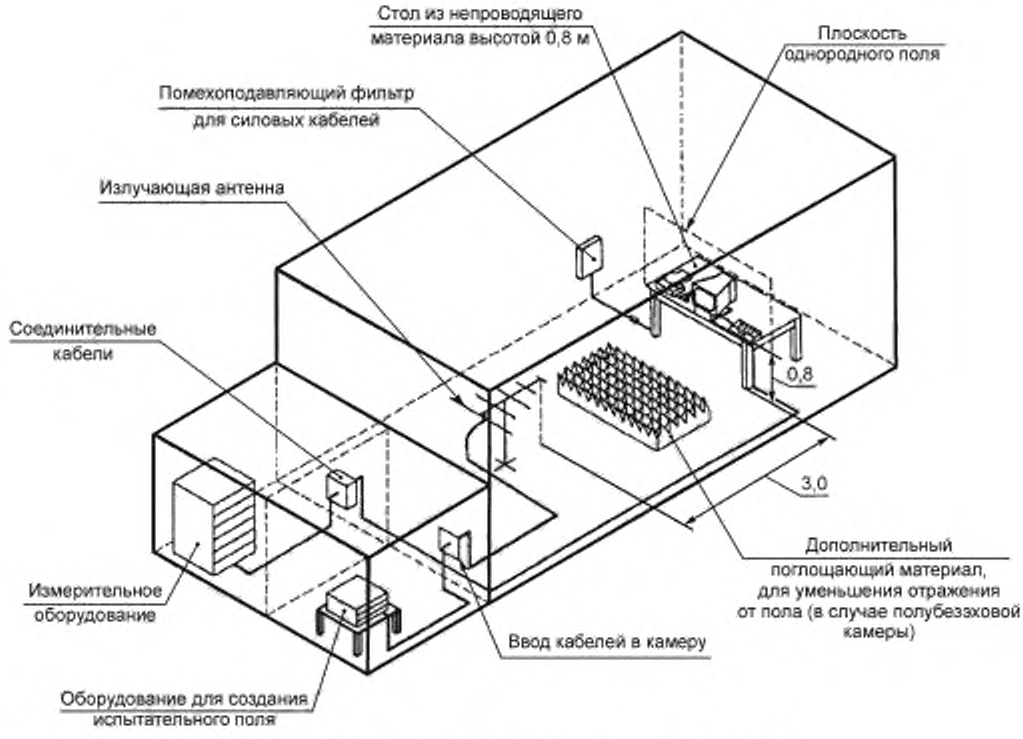


Рисунок 2 — Пример пригодной испытательной установки

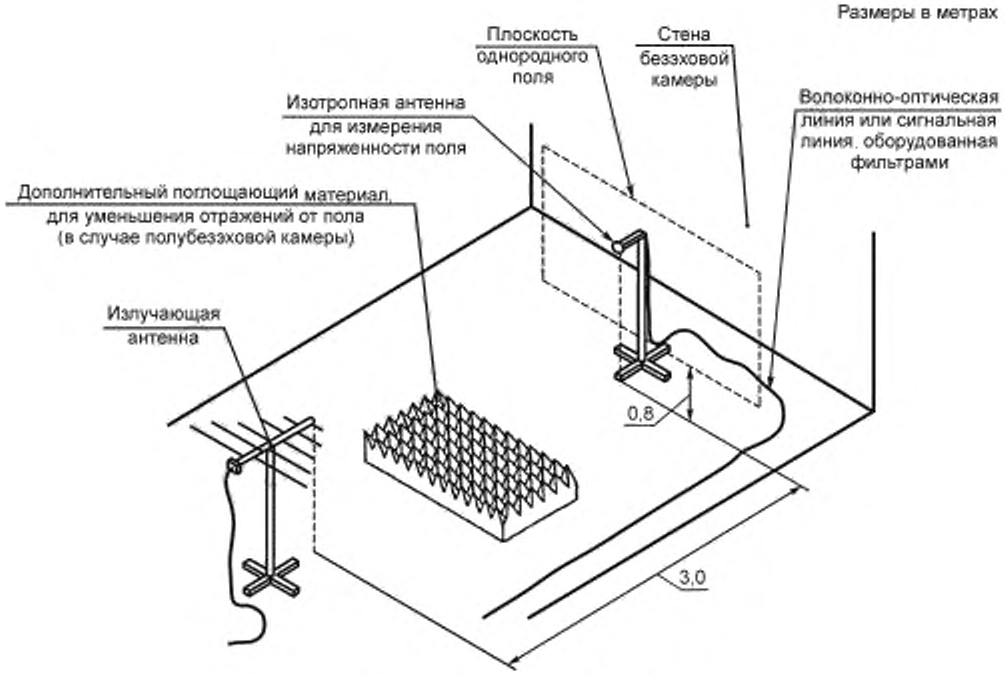


Рисунок 3 — Калибровка поля

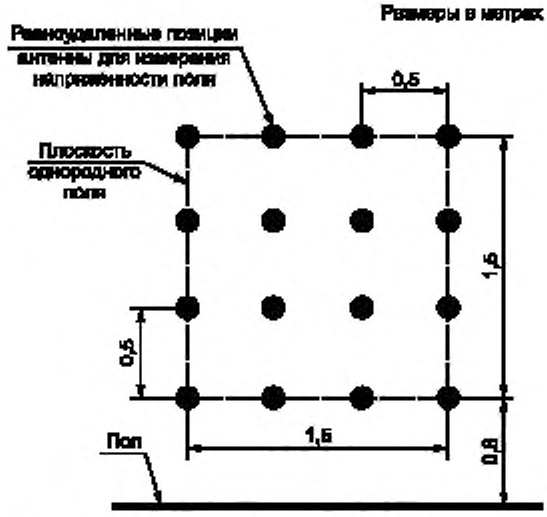


Рисунок 4 — Калибровка поля; размеры плоскости однородного поля

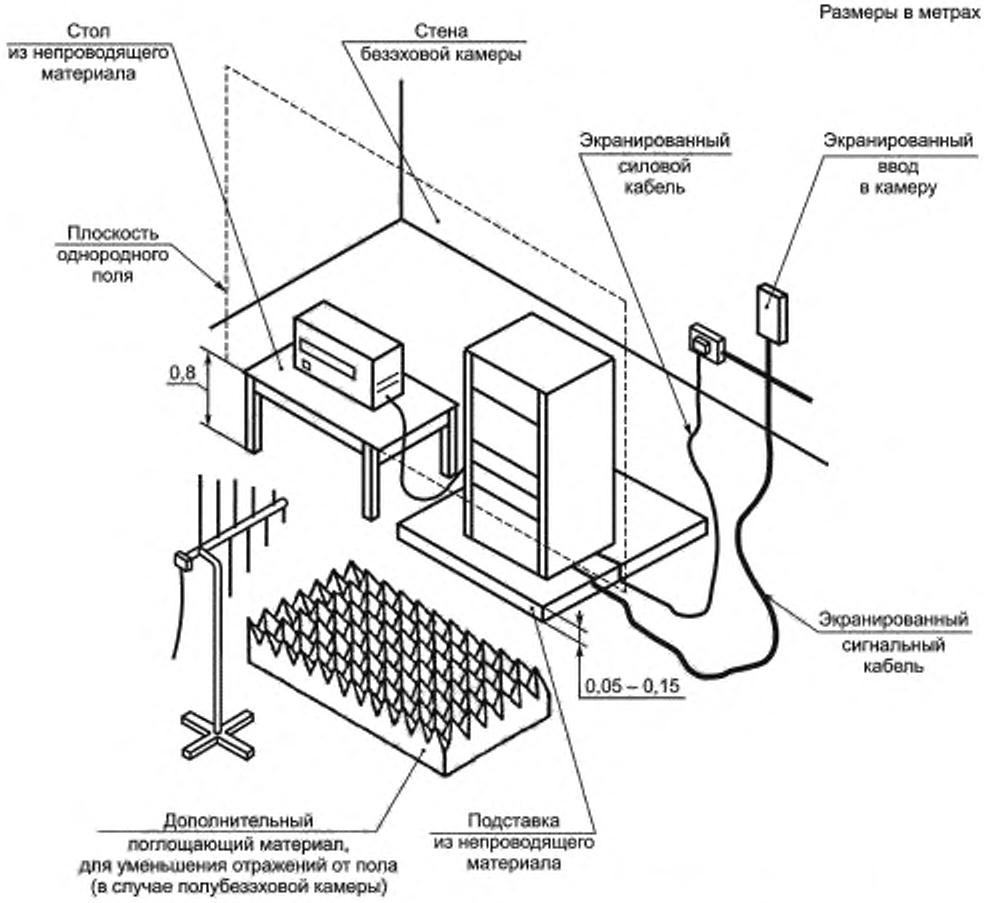


Рисунок 5 — Пример испытательной установки для напольного оборудования

Размер в метрах

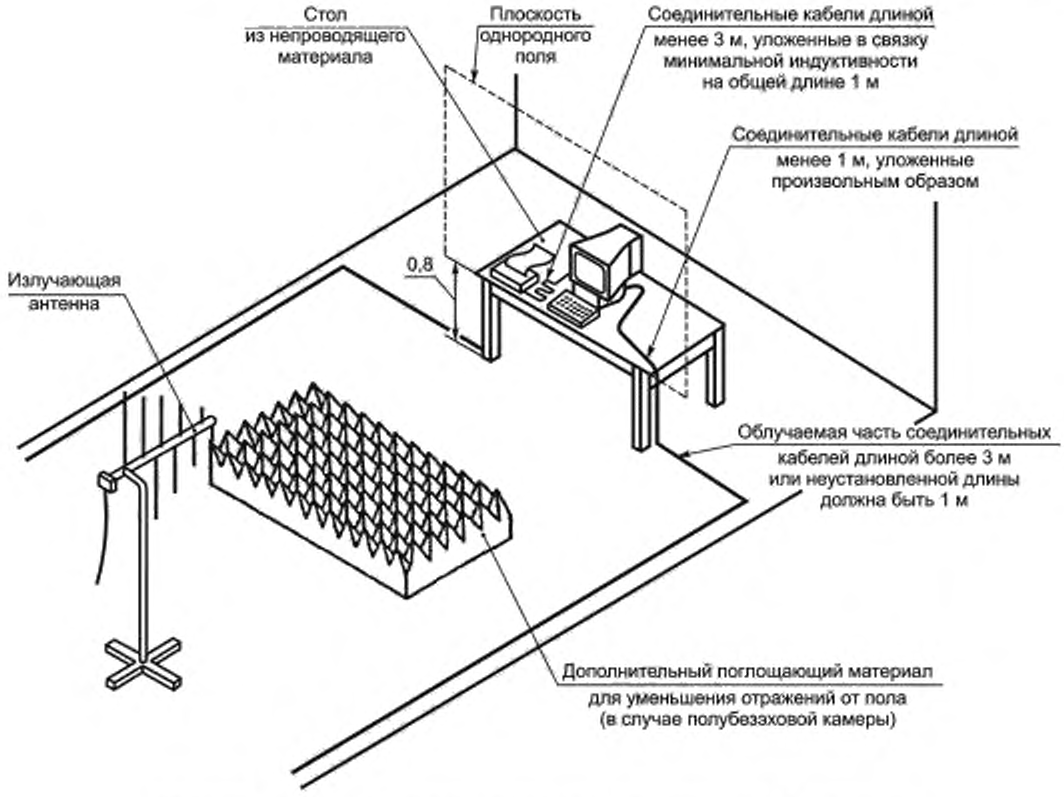
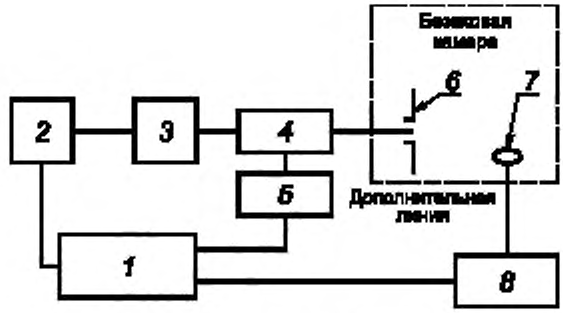


Рисунок 6 — Пример испытательной установки для настольного оборудования



1 — контроллер, например персональный компьютер; *2* — генератор сигналов; *3* — усилитель мощности; *4* — направленный ответвитель; *5* — измерительный прибор; *6* — передающая антенна; *7* — антенна (датчик) для измерения напряженности поля; *8* — измеритель напряженности поля

Примечание — Направленный ответвитель *4* и измерительный прибор *5* могут быть заменены детектором подводимой мощности или монитором, установленным между усилителем мощности *3* и передающей антенной *6*.

Рисунок 7 — Измерительная установка

Приложение А
(справочное)

Обоснование выбора модуляции при испытаниях, относящихся к защите от радиочастотной эмиссии цифровых радиотелефонов

А.1 Обзор различных методов модуляции

На частотах свыше 800 МГц возможная эмиссия помех связана прежде всего с цифровыми радиотелефонами, использующими модуляцию с непостоянной огибающей излучаемого сигнала.

При разработке настоящего стандарта были рассмотрены следующие методы модуляции при создании электромагнитного поля:

- амплитудная модуляция синусоидальным сигналом частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %;
- амплитудная модуляция сигналом, имеющим форму меандра со скважностью 2 и частотой повторения 200 Гц при глубине модуляции 100 %;
- импульсный радиочастотный сигнал, приближенно моделирующий характеристики различных систем радиосвязи, например скважность 8 при частоте повторения 200 Гц для системы GSM, скважность 24 при частоте повторения 100 Гц для портативного оборудования системы DECT и т. д. (см. сведения о системах GSM и DECT в приложении G);
- импульсный радиочастотный сигнал, точно моделирующий характеристики конкретной системы [например, для системы GSM: скважность 8, частоту повторения 200 Гц, а также вторичные эффекты, такие как режим прерывистой передачи (частота модуляции 2 Гц), и связанные с многокадровой структурой сигнала (компонента частотой 8 Гц)].

Результаты качественного сопоставления соответствующих методов модуляции обобщены в таблице А.1.

Таблица А.1 — Сравнение методов модуляции

Метод модуляции	Преимущества	Недостатки
Амплитудная модуляция синусоидальным сигналом	1 Эффекты нарушения функционирования оборудования, как показывают эксперименты, в целом одни и те же при использовании сигналов с различными видами модуляции с непостоянной огибающей при условии, что максимальное среднеквадратичное значение сигнала одинаково. 2 Нет необходимости устанавливать и измерять время нарастания импульсов TDMA. 3 Данный вид модуляции принят в настоящем стандарте и IEC 61000-4-6. 4 Оборудование для генерирования и измерения параметров испытательного поля имеется в наличии. 5 При испытаниях аудиотехники с аналоговой обработкой сигнала на выходе ИО в результате демодуляции возникает аудиосигнал, который может быть измерен узкополосным измерительным прибором при малом уровне шумов. 6 Была показана эффективность данного вида модуляции при моделировании воздействия на ИО сигналов с другими видами модуляции (частотной, фазовой, импульсной)	1 Не моделирует TDMA. 2 Приводит к незначительному повышению жесткости испытаний для отдельных ИО. 3 При использовании данного вида модуляции могут быть не выявлены некоторые процессы воздействия на ИО, приводящие к отказам функционирования
Амплитудная модуляция сигналом в форме меандра	1 Подобна TDMA. 2 Может применяться в качестве универсальной модуляции. 3 Может обеспечить обнаружение неизвестных процессов воздействия, приводящих к отказам в работе оборудования (чувствительного к быстрым изменениям огибающей радиочастотного сигнала)	1 Не в полной мере моделирует TDMA. 2 Требует применения нестандартного оборудования для генерирования сигнала. 3 При демодуляции в ИО возникают широкополосные аудиосигналы, измерение которых необходимо осуществлять широкополосными измерительными приборами при повышенном уровне шумов. 4 Необходимо регламентировать время нарастания импульсов

Окончание таблицы А.1

Метод модуляции	Преимущества	Недостатки
Радиочастотные импульсы	1 Возможно точное моделирование TDMA. 2 Может обеспечить обнаружение неизвестных процессов воздействия, приводящих к отказам в работе оборудования (чувствительного к быстрым изменениям огибающей радиочастотного сигнала)	1 Требует применения нестандартного оборудования для генерирования сигнала. 2 Необходимо иметь возможность изменять параметры модулирующих сигналов, чтобы привести их в соответствие с характеристиками каждой из конкретных систем (GSM, DECT и т. д.). 3 При демодуляции в ИО возникают широкополосные аудиосигналы, измерение которых необходимо осуществлять широкополосными измерительными приборами при повышенном уровне шумов. 4 Необходимо регламентировать время нарастания импульсов

А.2 Экспериментальные результаты

Для определения зависимости между используемым методом модуляции и производимым воздействием на ИО была проведена серия экспериментов. При этом проверяли следующие методы модуляции:

a) амплитудную модуляцию синусоидальным сигналом частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %;

b) импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы GSM, со скважностью 8, частотой повторения 200 Гц;

c) импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы DECT, со скважностью 2, частотой повторения 100 Гц (базовая станция);

d) импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы DECT, со скважностью 24, частотой повторения 100 Гц (портативное оборудование).

В каждом случае использовали один вид модуляции из применяемых в системе DECT.

Результаты проверки обобщены в таблицах А.2 и А.3.

Т а б л и ц а А.2 — Относительные уровни воздействия помехи[a]

Метод модуляции[b]		Амплитудная модуляция синусоидальным сигналом частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %, дБ	Импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы GSM, со скважностью 8, частотой повторения 200 Гц, дБ	Импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы DECT, со скважностью 24, частотой повторения 100 Гц, дБ
ИО	Выходной аудиосигнал			
Слуховой аппарат[c]	Невзвешенный (соответствующий огибающей 21 Гц — 21 кГц)	0[d]	0	−3
	Взвешенный (учитывающий частотную зависимость акустического усиления)	0	−4	−7
Аналоговый телефонный аппарат[e]	Невзвешенный	0[d]	−3	−7
	Взвешенный	−1	−6	−8
Радиоприемник[f]	Невзвешенный	0[d]	+1	−2
	Взвешенный	−1	−3	−7

[a] За уровень воздействия помехи принят уровень аудиосигнала на выходе ИО при воздействии электромагнитного поля. Низкий уровень воздействия эквивалентен высокому уровню помехоустойчивости оборудования.

[b] Важно: амплитуду несущего сигнала регулируют так, чтобы максимальное среднеквадратичное значение (см. раздел 3) испытательного (воздействующего) сигнала было одинаковым при всех методах модуляции.

[c] При воздействии внешнего электромагнитного поля частотой 900 МГц. Выходной аудиосигнал представляет собой акустический выходной сигнал слухового аппарата, измеренный с применением искусственного уха, подсоединенного с помощью трубки длиной 0,5 м.

Окончание таблицы А.2

[d] Выбран в качестве опорного уровня выходного аудиосигнала, т. е. соответствует 0 дБ.
[e] При воздействии радиочастотного тока, наведенного в телефонном кабеле на частоте 900 МГц. Выходной аудиосигнал представляет собой напряжение звуковой частоты, измеренное в телефонной линии.
[f] При воздействии радиочастотного тока, наведенного в кабеле электропитания на частоте 900 МГц. Выходной аудиосигнал представляет собой акустический сигнал громкоговорителя, измеренный с помощью микрофона.

Таблица А.3 — Относительные уровни помехоустойчивости[a]

Метод модуляции[b]		Амплитудная модуляция синусоидальным сигналом частотой 1 кГц при глубине модуляции 80 %, дБ	Импульсный радиочастотный сигнал подобный сигналу системы GSM, со скважностью 8, частотой повторения 200 Гц, дБ	Импульсный радиочастотный сигнал, подобный сигналу системы DECT, со скважностью 24, частотой повторения 100 Гц, дБ
ИО	Характер реакции ИО			
Телевизионный приемник[c]	Заметное ухудшение изображения	0[d]	−2	−2
	Сильное ухудшение изображения	+4	+1	+2
	Изображение отсутствует	+19	+18	+19
Цифровой терминал с интерфейсом RS 232[e]	Искажения на видеоэкране	0[d]	0	–
	Ошибки данных	> +16	> +16	–
Модем с интерфейсом RS 232[f]	Искажения данных (при вводе помехи в телефонный кабель)	0[d]	0	0
	Искажения данных (при вводе помехи в кабель интерфейса RS 232)	> +9	> +9	> +9
Регулируемый лабораторный источник питания[g]	Ошибка установки уровня постоянного тока 2 %	0[d]	+3	+7
Кросс SDH[h]	Порог допустимых битовых ошибок	0[d]	0	—

[a] Цифры в таблице представляют собой относительные максимальные среднеквадратичные значения (см. раздел 3) испытательного (воздействующего) сигнала, необходимые для обеспечения одной и той же степени воздействия при различных методах модуляции. Высокое относительное значение (в децибелах) означает высокий уровень помехоустойчивости.
[b] Испытательный сигнал регулируют так, чтобы характер реакции (влияние помехи) был одинаковым при всех методах модуляции.
[c] При воздействии радиочастотного тока, введенного в кабель электропитания на частоте 900 МГц. Характер воздействия определяется степенью нарушения изображения на экране телевизионного приемника. Оценка имеет в значительной степени субъективный характер, так как параметры ухудшения изображения различны при различных методах модуляции.
[d] Значение выбрано в качестве опорного уровня помехоустойчивости, т. е. принято равным 0 дБ.
[e] При воздействии радиочастотного тока, введенного в кабель интерфейса RS 232 на частоте 900 МГц.
[f] При воздействии радиочастотного тока, введенного в телефонный кабель и в кабель интерфейса RS 232 на частоте 900 МГц.
[g] При воздействии радиочастотного тока, введенного в выходной кабель постоянного тока на частоте 900 МГц.
[h] SDH — синхронная цифровая иерархия. Воздействие представляет собой кратковременное электромагнитное поле на частоте 935 МГц.

В ходе проведенных экспериментов были испытаны при воздействии электромагнитного поля напряженностью до 30 В/м с использованием амплитудной модуляции синусоидальным сигналом и импульсной модуляции со скважностью 2 следующие образцы цифрового оборудования:

- осушитель рук (электрическое полотенце) с микропроцессорным управлением;
- модем (скорость передачи 2 Мбайт, 75-омный коаксиальный кабель);
- модем (скорость передачи 2 Мбайт, 120-омная скрученная пара);
- промышленный контроллер с микропроцессором, видеодисплеем и интерфейсом RS 485;
- обучающая система с микропроцессором;
- терминал для кредитных карт с модемом;
- цифровой мультиплексер (2/34 Мбайт);
- повторитель Ethernet (10 Мбайт/с).

Все отказы были связаны с аналоговыми функциями ИО.

А.3 Вторичные эффекты модуляции

При точном воспроизведении модуляции, используемой в цифровых радиотелефонных системах, важно не только моделировать первичную модуляцию, но и учитывать влияние любой вторичной модуляции.

Например, применительно к системам GSM и DCS 1800 возникают эффекты, связанные с многокадровой структурой сигнала, вызываемые подавлением пачки импульсов каждые 120 мс (что создает частотную составляющую приблизительно 8 Гц). Возможна также дополнительная модуляция на частоте 2 Гц при режиме прерывистой передачи (DTX).

А.4 Выводы

Испытанные образцы ИО реагировали на помехи при всех используемых методах модуляции. При сравнении эффектов воздействия при различных видах модуляции важно обеспечить одно и то же максимальное среднеквадратичное значение испытательных сигналов.

При наличии существенных различий между эффектами воздействия при различных видах модуляции испытания с использованием амплитудной модуляции синусоидальным сигналом являются наиболее жесткими.

Если для ИО конкретного вида отмечается различный характер воздействия при использовании амплитудной модуляции синусоидальным сигналом и TDMA, то это различие может быть скорректировано при установлении соответствующего критерия качества функционирования в стандарте на ИО конкретного вида.

В целом амплитудная модуляция синусоидальным сигналом имеет следующие преимущества:

- возможность измерения выходных сигналов в аналоговых системах, возникающих в результате воздействия помех, с помощью узкополосных измерительных приборов при малом уровне шумов;
- универсальность применения, так как нет необходимости моделировать характеристики источника помех;
- возможность применения модуляции с одними и теми же параметрами на всех частотах;
- всегда обеспечивается по крайней мере такая же жесткость испытаний, как и при импульсной модуляции.

Учитывая вышеизложенное, в настоящем стандарте установлен метод воздействия испытательным электромагнитным полем при амплитудной модуляции синусоидальным сигналом глубиной модуляции 80 %. Рекомендуется, чтобы техническими комитетами по стандартизации, ответственными за разработку стандартов для оборудования конкретного вида, альтернативный метод модуляции применялся лишь при наличии особых причин.

Приложение В
(справочное)

Излучающие антенны

В.1 Биконическая антенна

Биконическая антенна состоит из коаксиального симметрирующего устройства и объемного излучающего элемента, имеет широкую полосу частот и может работать как на передачу, так и на прием. Зависимость коэффициента калибровки антенны представляет собой плавную кривую, как правило, возрастающую с частотой.

Малые размеры антенны делают ее удобной для применения в ограниченных зонах, например в безэховых камерах.

В.2 Логопериодическая антенна

Логопериодическая антенна представляет собой группу диполей различной длины, соединенных с передающей линией.

Эти широкополосные антенны обладают относительно высоким усилением и низким коэффициентом стоячей волны.

При выборе антенны для создания испытательного электромагнитного поля необходимо убедиться в том, что симметрирующее устройство обеспечивает передачу требуемой мощности.

В.3 Рупорные и волноводные антенны

Рупорные и волноводные антенны создают линейно поляризованные электромагнитные поля. Их применение типично на частотах свыше 1000 МГц.

Приложение С
(справочное)

Использование безэховых камер

С.1 Общие сведения о безэховых камерах

Полубезэховая камера представляет собой экранированное помещение, стены и потолок которого покрыты радиопоглощающим материалом. В полностью безэховой камере радиопоглощающим материалом покрыт также пол.

Покрытие камеры радиопоглощающим материалом преследует цель предотвратить отражения радиоволн от внутренних поверхностей камеры, так как интерференция излученного и отраженного электромагнитных полей может привести к образованию пиков и провалов напряженности результирующего электромагнитного поля.

Коэффициент отражения радиопоглощающего материала зависит в основном от частоты и угла падения радиоволн. Как правило, поглощение электромагнитной энергии максимально при нормальном падении радиоволн на поверхность радиопоглощающего материала и снижается при возрастании угла падения.

Для того чтобы уменьшить отражения и увеличить поглощение радиоволн, применяют радиопоглощающий материал в форме пирамид или конусов.

В полубезэховых камерах дополнительная установка радиопоглощающего материала на полу камеры помогает обеспечить требуемую степень однородности испытательного поля на всех частотах. Место размещения радиопоглощающего материала определяют экспериментально.

Дополнительный поглощающий материал не должен быть размещен в направлении прямого распространения луча от антенны к ИО. При испытаниях дополнительный поглощающий материал размещают в том же положении и при той же ориентации, что и в процессе калибровки.

Однородность испытательного поля в безэховой камере может быть также улучшена путем сдвига излучающей антенны относительно оси камеры, так как любые отражения не являются симметричными.

Безэховые камеры становятся малоэффективными на низких частотах (ниже 30 МГц), в то время как эффективность камер, покрытых ферритовым радиопоглощающим материалом, может снижаться на частотах свыше 1 ГГц. Следует добиваться однородности излучаемого поля на самых низких и самых высоких частотах, однако при этом может возникнуть необходимость в определенном изменении конструкции камеры.

С.2 Приспособление безэховых камер, покрытых ферритовым материалом, сконструированных для применения на частотах до 1 ГГц, для использования на частотах свыше 1 ГГц

Большинство существующих малых безэховых камер, использующих ферриты в качестве радиопоглощающего материала, сконструированы для использования на частотах до 1 ГГц. При использовании таких камер на частотах свыше 1 ГГц может быть трудно или невозможно обеспечить соответствие требованиям к однородности испытательного электромагнитного поля, установленным в 6.2.

Настоящий раздел содержит сведения о процедурах адаптации таких камер для частот свыше 1 ГГц с использованием альтернативного метода облучения, приведенного в приложении Н.

С.2.1 Проблемы, связанные с использованием камер, покрытых ферритовым материалом, при испытаниях на устойчивость к излучаемому полю на частотах свыше 1 ГГц

Указанные проблемы могут иметь место, например, в малых безэховых камерах, покрытых ферритовым материалом, или в малых [в типичном случае размерами 7 (длина) × 3 (ширина) × 3 (высота) м] безэховых камерах, покрытых комбинированным материалом из ферритовых поглотителей и поглотителей, содержащих углерод.

На частотах свыше 1 ГГц ферритовые плитки обычно ведут себя скорее как отражатели, чем как поглотители. Поэтому установить на этих частотах испытательное электромагнитное поле, однородное на плоскости размерами 1,5 × 1,5 м, оказывается весьма затруднительным из-за многократных отражений от внутренних поверхностей камеры (см. рисунок С.1).

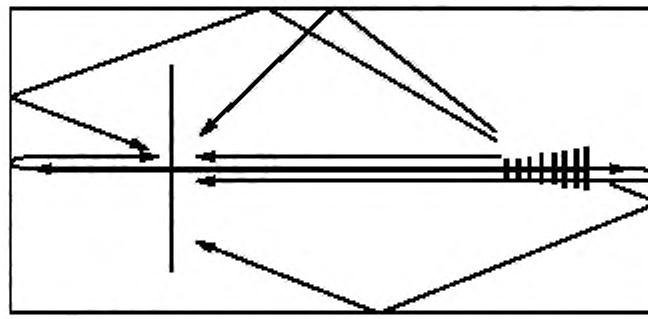


Рисунок С.1 — Многократные отражения в существующих малых безэховых камерах

В полосах частот, выделенных для радиотелефонов, длина волны излучения менее 0,2 м. Это означает, что результаты испытаний весьма чувствительны к расположению излучающей антенны, антенны (датчика) для измерения электромагнитного поля и ИО.

С.2.2 Возможное решение

Для того чтобы разрешить указанные в С.2.1 проблемы, предлагаются следующие процедуры:

a) использование рупорной или волноводной антенны для уменьшения компонентов поля, излучаемых в обратном направлении, что также позволит уменьшить отражения от боковых стен безэховой камеры благодаря узкой диаграмме направленности антенны;

b) уменьшение расстояния между излучающей антенной и ИО для снижения отражений от боковых стен (расстояние между антенной и ИО может быть уменьшено до 1 м). Использование метода независимых окон размерами 0,5 × 0,5 м (см. приложение Н) для обеспечения воздействия на ИО однородного поля;

c) дополнительное покрытие стены камеры, противоположной основному направлению излучения антенны, радиопоглощающим материалом со средним наполнением углеродом, с тем чтобы исключить прямые отражения, что уменьшит чувствительность испытаний к позиционированию ИО и излучающей антенны. Кроме того, дополнительное покрытие поглощающим материалом позволит улучшить однородность поля на частотах ниже 1 ГГц.

Примечание — Если для дополнительного покрытия применяется поглощающий материал с высоким содержанием углерода, это может затруднить выполнение требований к однородности поля на частотах ниже 1 ГГц.

Выполнение этих процедур позволяет исключить бóльшую часть отраженных волн (см. рисунок С.2).

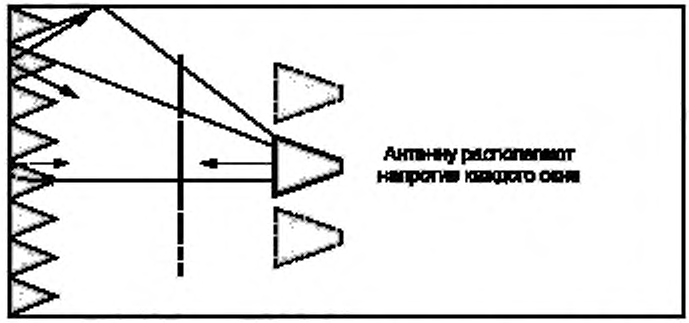


Рисунок С.2 — Схема расположения, позволяющая исключить бóльшую часть отраженных волн

Приложение D
(справочное)

Нелинейность усилителя и пример процедуры калибровки в соответствии с 6.2

D.1 Цель ограничения искажений усилителя

Нелинейность усилителя должна поддерживаться на достаточно низком уровне, при котором она не будет оказывать существенного влияния на неопределенность значений напряженности поля. В соответствии с этим в настоящем приложении приведены рекомендации для испытательных лабораторий по выявлению и ограничению эффектов насыщения усилителя.

D.2 Возможные проблемы, вызываемые гармоническими составляющими и насыщением усилителя

Гармонические составляющие могут привести к различным последствиям.

a) Напряженность поля может включать в себя значительную долю гармонических составляющих:

1) если это имеет место при калибровке, то будет иметь место ошибка измерения напряженности поля на заданной частоте, так как широкополосная антенна для измерения напряженности поля обеспечивает измерение уровней полей как на основной частоте, так и на частотах гармонических составляющих.

Предположим, например, что уровень третьей гармонической составляющей напряжения сигнала на зажимах антенны на 15 дБ ниже, чем уровень сигнала на основной частоте, и другие гармонические составляющие отсутствуют. Предположим также, что коэффициент калибровки антенны на основной частоте на 5 дБ меньше, чем на частоте третьей гармонической составляющей. Тогда измеренная напряженность поля на основной частоте будет лишь на 10 дБ больше, чем на частоте третьей гармонической составляющей. Если общая измеренная напряженность поля составляет 10 В/м, напряженность поля на основной частоте будет 9,5 В/м. Можно полагать, что указанная ошибка является допустимой, так как она меньше, чем погрешность измерительной антенны;

2) в процессе испытаний заметные гармонические составляющие могут привести к ошибкам в выявлении нарушений функционирования ИО, если испытуемое оборудование устойчиво функционирует при воздействии помехи на основной частоте, но оказывается восприимчивым к воздействию помехи на частоте гармонической составляющей.

b) В некоторых случаях гармонические составляющие могут оказывать влияние на результаты испытаний даже при их эффективном подавлении. Например, при испытаниях приемного устройства, функционирующего на частоте 900 МГц, даже весьма слабые гармонические составляющие испытательного сигнала частотой 300 МГц могут перегрузить вход приемника. Аналогичное влияние могут оказать побочные колебания на выходе усилителя, не связанные с гармоническими составляющими основной частоты;

c) насыщение усилителя возможно даже при отсутствии измеряемых гармонических составляющих, например если на выходе усилителя применен фильтр низких частот, эффективно подавляющий гармонические составляющие. В этом случае также возможны ошибочные результаты:

1) если это происходит при калибровке, возможные ошибки связаны с тем, что при использовании алгоритма, установленного в 6.2, используется предположение о линейности;

2) в процессе испытаний такой вид насыщения усилителя приводит к ошибке установления коэффициента модуляции и появлению гармонических составляющих частоты модуляции (обычно 1000 Гц).

Указанные примеры показывают, что установление предельных численных значений искажений усилителя нецелесообразно, так как степень влияния указанных искажений существенно зависит от вида ИО.

D.3 Предложения по контролю нелинейности усилителя

D.3.1 Ограничение содержания гармонических составляющих испытательного поля

Гармонические составляющие испытательного поля могут быть ограничены за счет использования на выходе усилителя регулируемого (следящего/настраиваемого) фильтра низких частот. Для всех частот, при которых на выходе усилителя возникают гармонические составляющие, необходимо, чтобы ослабление гармонических составляющих поля в сравнении с составляющей на основной частоте превышало 6 дБ [см. также вариант влияния перегрузки усилителя, указанный в перечислении b) раздела D.2].

При этом ошибка установления напряженности поля будет менее 10 %. Например, напряженность поля 10 В/м при измерении широкополосной антенной может быть вызвана составляющими поля напряженностью 9 В/м на основной частоте и 4,5 В/м на частоте гармонической составляющей. При оценке неопределенности измерения напряженности поля при калибровке такой вариант является допустимым.

Если на выходе усилителя применяют фильтр низких частот с фиксированными параметрами, то верхняя характеристическая частота фильтра должна быть равна примерно 1/3 максимальной частоты усилителя.

D.3.2 Измерение содержания гармонических составляющих испытательного поля

Гармонический состав испытательного поля может быть измерен либо непосредственно путем применения селективной измерительной антенны, либо косвенным способом. При использовании косвенного способа:

- определяют эффективный коэффициент калибровки излучающей антенны (отношение подаваемой мощности к напряженности поля для данной камеры и данного расположения антенны), а затем находят отношение подаваемой мощности на основной частоте и частотах гармонических составляющих или

- применяют направленный ответвитель с учетом значений коэффициента калибровки антенны, приведенных в технических документах изготовителя.

Если на выходе усилителя, который может работать в режиме насыщения, применяют фильтр низких частот, подавляющий гармонические составляющие, то уровень подаваемого сигнала ни при каких условиях не должен превышать значение на 2 дБ ниже точки насыщения усилителя. При этом пиковое значение сигнала на выходе усилителя (в вольтах) будет уменьшено на 20 %.

Это приведет к снижению глубины модуляции от 80 % до 64 %, т. е. к уменьшению показаний измерителя напряженности поля на 20 %.

D.4 Примеры, свидетельствующие об эквивалентности двух методов калибровки (см. 6.2)

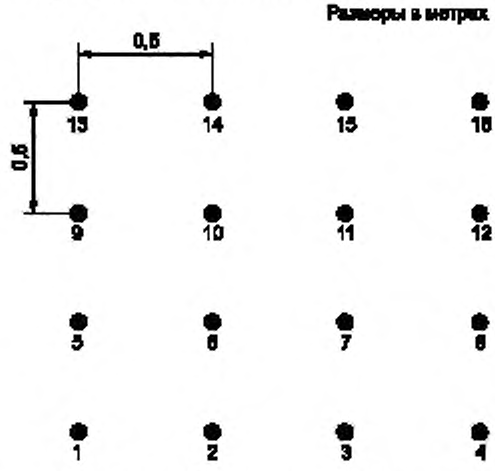


Рисунок D.1 — Позиции измерительной антенны (датчика) в плоскости однородного поля

На рисунке D.1 показано расположение 16 позиций, в которых должна быть измерена однородность поля. Расстояние между соседними позициями должно быть фиксированным и равным 0,5 м.

D.4.1 Пример выполнения процедуры калибровки с использованием метода постоянной напряженности поля в соответствии с 6.2.1

Для создания постоянной напряженности поля E_c = 6 В/м на конкретной частоте при измерениях с применением установки, приведенной на рисунке 7, потребовались значения подводимой мощности, приведенные в таблице D.1 (принято в качестве примера). В таблице D.2 эти значения распределены в порядке возрастания.

Т а б л и ц а D.1 — Измеренные значения подводимой мощности при калибровке с использованием метода постоянной напряженности поля

Позиция	Подаваемая мощность, дБ (мВт)
1	27
2	22
3	37
4	33
5	31
6	29
7	23
8	27
9	28
10	30
11	30
12	31

Окончание таблицы D.1

Позиция	Подаваемая мощность, дБ (мВт)
13	40
14	30
15	31
16	31

Таблица D.2 — Измеренные значения подводимой мощности, распределенные в порядке возрастания, и оценка результатов измерений

Позиция	Подаваемая мощность, дБ (мВт)
2	22
7	23
1	27
8	27
9	28
6	29
10	30
11	30
14	30
5	31
12	31
15	31
16	31
4	33
3	37
13	40
Примечания 1 Позиция 13: 40 – 6 = 34, соответствуют требованиям только две позиции. 2 Позиция 3: 37 – 6 = 31, соответствуют требованиям только шесть позиций. 3 Позиция 4: 33 – 6 = 27, соответствуют требованиям двенадцать позиций.	

В указанном примере измерительные позиции 2, 3, 7 и 13 не соответствуют критерию 0/+ 6 дБ, но по крайней мере 12 из 16 позиций соответствуют указанному критерию. Следовательно, на данной конкретной частоте критерий однородности испытательного поля выполняется. В данном случае подводимая мощность должна составлять 33 дБ (мВт). Это обеспечит для двенадцати позиций напряженность поля не менее 6 В/м (позиция 4) и для двух позиций напряженность поля не менее 12 В/м (позиции 1 и 8).

D.4.2 Пример выполнения процедуры калибровки с использованием метода постоянной мощности в соответствии с 6.2.2

Позиция 1 выбрана в качестве первой точки калибровки, в которой обеспечена напряженность поля E_c = 6 В/м на конкретной частоте. При той же подводимой мощности измерены с применением установки, приведенной на рисунке 7, значения напряженности поля, приведенные в таблице D.3. В таблице D.4 эти значения распределены в порядке возрастания.

Таблица D.3 — Измеренные значения подводимой мощности и напряженности поля при калибровке с использованием метода постоянной мощности

Позиция	Подаваемая мощность, дБ (мВт)	Напряженность поля, В/м	Напряженность поля, дБ, относительно позиции 1
1	27	6,0	0
2	27	10,7	5
3	27	1,9	−10

Окончание таблицы D.3

Позиция	Подаваемая мощность, дБ (мВт)	Напряженность поля, В/м	Напряженность поля, дБ, относительно позиции 1
4	27	3,0	−6
5	27	3,8	−4
6	27	4,8	−2
7	27	9,5	4
8	27	6,0	0
9	27	5,3	−1
10	27	4,2	−3
11	27	4,2	−3
12	27	3,8	−4
13	27	1,3	−13
14	27	4,2	−3
15	27	3,8	−4
16	27	3,8	−4

Т а б л и ц а D.4 — Измеренные значения напряженности поля, распределенные в порядке возрастания, и оценка результатов измерений

Позиция	Подаваемая мощность, дБ (мВт)	Напряженность поля, В/м	Напряженность поля, дБ, относительно позиции 1
13	27	1,3	−13
3	27	1,9	−10
4	27	3,0	−6
5	27	3,8	−4
12	27	3,8	−4
15	27	3,8	−4
16	27	3,8	−4
10	27	4,2	−3
11	27	4,2	−3
14	27	4,2	−3
6	27	4,8	−2
9	27	5,3	−1
1	27	6,0	0
8	27	6,0	0
7	27	9,5	4
2	27	10,7	5

П р и м е ч а н и я
1 Позиция 13: – 13 + 6 = – 7, соответствуют требованиям только две позиции.
2 Позиция 3: – 10 + 6 = – 4, соответствуют требованиям только шесть позиций.
3 Позиция 4: – 6 + 6 = 0, соответствуют требованиям двенадцать позиций.

В указанном примере измерительные позиции 13, 3, 7 и 2 не соответствуют критерию 0/+6 дБ, но 12 из 16 позиций соответствуют указанному критерию. Следовательно, на данной конкретной частоте критерий однородности испытательного поля выполняется. В данном случае подводимая мощность, необходимая для обеспечения напряженности поля E_c = 6 В/м, должна составлять 27 дБ (мВт) + 20 lg (6 В/м/3 В/м) = 33 дБ (мВт). Это обеспечит для 12 позиций напряженность поля не менее 6 В/м (позиция 4) и для двух позиций напряженность поля не менее 12 В/м (позиции 1 и 8).

Приложение Е
(справочное)

Рекомендации для технических комитетов, разрабатывающих стандарты на продукцию, по выбору испытательных уровней

Е.1 Введение

Излучаемую мощность радиопередатчиков часто устанавливают в единицах эффективной излучаемой мощности по отношению к полуволновому диполю. Поэтому напряженность поля, создаваемого в дальней зоне (среднеквадратичное значение), E, В/м, может быть непосредственно рассчитана по формуле для диполя

$$E = k\sqrt{P}/d, \qquad (E.1)$$

где k — коэффициент, равный 7, для распространения радиоволн в свободном пространстве в дальней зоне;

P — эффективная излучаемая мощность, Вт;

d — расстояние до антенны, м.

Если эффективная излучаемая мощность передатчика неизвестна, в формулу (Е.1) может быть подставлено значение мощности, передаваемой в антенну. В этом случае значение коэффициента k для типичных переносных радиопередатчиков принимают равным 3.

Следует учитывать, что отражающие и поглощающие объекты, расположенные поблизости от передатчика, изменяют напряженность поля.

Е.2 Испытательные уровни, относящиеся к общим задачам

Испытательные уровни и частоты воздействующего электромагнитного поля при испытаниях оборудования выбирают в соответствии с параметрами электромагнитных излучений, которые могут воздействовать на оборудование после его окончательной установки на месте эксплуатации. При выборе испытательных уровней необходимо принимать во внимание последствия отказов в работе оборудования. Если последствия отказов в работе могут быть значительными, устанавливают более высокие испытательные уровни.

Если места, где будет установлено оборудование, известны, ожидаемый уровень радиочастотного поля может быть установлен путем изучения источников радиочастотных полей в местах установки. Если мощности источников неизвестны, измеряют напряженность поля в местах (месте) установки оборудования.

Для изделий, предназначенных для эксплуатации в различных местах, при выборе испытательных уровней используют следующие рекомендации.

Приведенные ниже классы условий электромагнитной обстановки соответствуют испытательным уровням, установленным в разделе 5 настоящего стандарта. Использование указанных ниже классов рассматривается в качестве основы для выбора степеней жесткости испытаний.

Класс 1 — обстановка, характеризуемая низким уровнем электромагнитных излучений. Соответствует случаю расположения маломощных радиовещательных и телевизионных передатчиков на расстоянии более 1 км от места эксплуатации оборудования.

Класс 2 — обстановка, характеризуемая средним уровнем электромагнитных излучений. Соответствует случаю применения переносных радиостанций мощностью менее 1 Вт при ограничении их работы в непосредственной близости к оборудованию. Представляет собой типичную коммерческую обстановку.

Класс 3 — обстановка, характеризуемая высоким уровнем электромагнитных излучений. Соответствует случаю применения переносных радиостанций мощностью более 1 Вт в непосредственной близости к оборудованию (но не менее 1 м), а также близкому расположению мощных радиовещательных и телевизионных передатчиков и промышленных, научных и медицинских высокочастотных устройств. Представляет собой типичную промышленную обстановку.

Класс X — особые условия электромагнитной обстановки при эксплуатации оборудования, применительно к которым испытательный уровень устанавливают в стандарте на продукцию конкретного вида или в технических документах на оборудование.

Е.3 Испытательные уровни, относящиеся к защите от радиочастотной эмиссии цифровых радиотелефонов

Испытательные уровни выбирают в соответствии с ожидаемыми параметрами электромагнитных полей, т. е. на основе рассмотрения мощностей радиотелефонных устройств и возможных расстояний между их передающими антеннами и оборудованием. Учет подвижных радиостанций, как правило, приводит к установлению более жестких требований при испытаниях по сравнению с базовыми станциями, так как подвижные станции могут быть размещены на существенно меньших расстояниях от потенциально восприимчивого оборудования, чем базовые станции.

При выборе испытательного уровня необходимо принимать во внимание затраты, связанные с установлением необходимой помехоустойчивости оборудования, и последствия отказов в его работе. Более высокие испытательные уровни должны быть установлены только в том случае, если последствия отказов в работе оборудования могут быть значительными.

На практике с малой вероятностью появления могут иметь место случаи, когда уровни воздействующих полей могут превышать уровни, выбранные для испытаний. Для того чтобы предотвратить неприемлемые отказы в работе оборудования в этих условиях, может потребоваться проведение повторных испытаний при повышенной интенсивности воздействующего поля и допущении определенного ухудшения качества функционирования оборудования.

Примеры испытательных уровней, критериев качества функционирования оборудования при испытаниях и соответствующих защитных расстояний приведены в таблице Е.1. Защитное расстояние представляет собой минимальное допустимое расстояние между оборудованием и цифровым радиотелефоном, соответствующее установленному испытательному уровню. Указанные расстояния рассчитывают с использованием формулы (Е.1) при k = 7, предполагая, что сигнал при испытаниях модулируется по амплитуде синусоидальным напряжением при глубине модуляции 80 %.

Таблица Е.1 — Примеры испытательных уровней, критериев качества функционирования оборудования при испытаниях и соответствующих защитных расстояний

Испытательный уровень	Напряженность поля в отсутствие модуляции, В/м	Максимальное среднеквадратичное значение напряженности поля, В/м	Защитное расстояние, м			Критерий качества функционирования [1]	
			2 Вт GSM	8 Вт GSM	¼ Вт DECT	Пример 1 [2]	Пример 2 [3]
1	1	1,8	5,5	11	1,9	—	—
2	3	5,4	1,8	3,7	0,6	A	—
3	10	18	0,6	1,1	0,2 [4]	B	A
4	30	54	0,2 [4]	0,4	0,1 [4]	—	B

[1] В соответствии с разделом 9 настоящего стандарта.
[2] Оборудование, для которого последовательность отказов в работе допускается.
[3] Оборудование, для которого последовательность отказов в работе не допускается.
[4] При данных и меньших защитных расстояниях формула (Е.1) для поля дальней зоны является неточной.

При установлении значений, приведенных в таблице Е.1, были учтены следующие условия:

- для большей части радиотелефонов системы GSM максимальная эффективная излучаемая мощность равна 2 Вт. Определенная часть радиотелефонов, находящихся в эксплуатации, имеет максимальную эффективную излучаемую мощность 5 и 8 Вт. Эффективная излучаемая мощность подвижных радиотелефонов в большинстве случаев меньше максимальной (за исключением случаев их применения в районах затрудненного приема);
- условия связи внутри помещений являются более сложными, чем вне помещений. Поэтому эффективная излучаемая мощность радиотелефонов внутри помещений может во многих случаях не соответствовать максимальной мощности, установленной для данного класса оборудования. Это усложняет условия обеспечения ЭМС, так как большинство образцов оборудования, восприимчивых к воздействию электромагнитных полей, применяют внутри помещений;
- уровень помехоустойчивости различных образцов оборудования определяют в зависимости от максимального среднеквадратичного значения напряженности поля при наличии модуляции (см. А.2 приложения А). По этой причине при расчетах защитных расстояний в формулу (Е.1) подставляют максимальное среднеквадратичное значение напряженности поля при амплитудной модуляции глубиной 80 %;
- защитное расстояние рассчитывают подстановкой в формулу (Е.1) коэффициента k = 7. При этом не учитывают случайные колебания напряженности поля из-за отражений от стен, пола и потолка помещений, которые могут быть в пределах ± 6 дБ;
- в соответствии с формулой (Е.1) защитное расстояние зависит от эффективной излучаемой мощности цифрового радиотелефона и не зависит от его рабочей частоты.

Е.4 Специальные мероприятия для стационарных передатчиков

Устанавливаемые с учетом рекомендаций, приведенных в настоящем приложении, испытательные уровни соответствуют типичным уровням воздействующего электромагнитного поля, которые редко превышаются в условиях эксплуатации оборудования.

Вместе с тем в некоторых местах размещения оборудования указанные типичные уровни могут быть превышены, например при установке радиолокационной станции, расположении в одном здании с оборудованием мощных радиопередатчиков или промышленных, научных и медицинских высокочастотных устройств. В этих случаях экранирование помещения или здания, в котором расположено оборудование, и применение помехоподавляющих фильтров в силовых кабелях и кабелях передачи сигналов могут быть более предпочтительными, чем установление для всего оборудования повышенных требований устойчивости к электромагнитному полю.

Приложение F
(справочное)

Выбор методов испытаний

Настоящий стандарт и IEC 61000-4-6 устанавливают два метода испытаний оборудования на устойчивость к воздействию излученной электромагнитной энергии.

Испытания на устойчивость к помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями, в основном применяют на пониженных частотах, а испытания на устойчивость к излученным радиочастотным электромагнитным полям — на повышенных частотах.

Существует область частот, в которой одновременно применимы методы испытаний, установленные в настоящем стандарте и IEC 61000-4-6.

Метод испытаний, установленный в IEC 61000-4-6, может быть применен на частотах до 230 МГц. Применение метода, установленного в настоящем стандарте, возможно на частотах до 26 МГц.

Целью настоящего приложения является обеспечение технических комитетов по стандартизации и разработчиков технических документов на оборудование рекомендациями по выбору наиболее приемлемого метода испытаний, обеспечивающего воспроизводимость результатов испытаний с учетом особенностей конструкции оборудования.

При выборе метода испытаний должны быть рассмотрены:

- соотношение между длиной волны воздействующего поля и размерами оборудования;
- соотношение размеров оборудования и длин подключенных к нему кабелей;
- число элементов оборудования и подключенных к нему кабелей.

Приложение G
(справочное)

Описание электромагнитной обстановки

G.1 Сведения о системах радиосвязи

Сведения о параметрах систем радиосвязи, которые должны быть учтены при обеспечении ЭМС, приведены в таблицах G.1—G.3.

В таблицах G.1—G.3 используют следующие обозначения:

CDMA (code division multiple access) (многостанционный доступ с кодовым разделением каналов) — метод доступа, при котором на передающем конце сигнал кодируется с использованием псевдослучайной последовательности, известной на приемном конце, используемой для декодирования принимаемого сигнала. Каждая отдельная псевдослучайная последовательность соответствует отдельному каналу связи;

CT-2 (cordless telephone, second generation) (бесшнуровой телефон второго поколения) — система бесшнурового телефона. Широко используется в некоторых европейских странах;

DCS 1800 (digital cellular system) (цифровая сотовая система в диапазоне частот 1800 МГц) — сотовая мобильная система связи, характеризующаяся низкой стоимостью. Распространена во всех странах;

DECT (digital enhanced cordless telecommunication) (цифровая усовершенствованная беспроводная связь) — бесшнуровая сотовая система связи, характеризующаяся низкой стоимостью. Широко используется в европейских странах;

DTX (discontinious transmission) (прерывистая передача) — способ существенного снижения загрузки частотного канала и энергосбережения за счет выключения передатчика при отсутствии информации, подлежащей передаче;

ERP (effective radiated power) — эффективная излучаемая мощность, отнесенная к полуволновому вибратору;

FDD (frequency division duplex) (дуплексная передача с частотным разделением) — двусторонняя передача информации, при которой частоты передачи и приема различны;

FDMA (frequency division multiple access) (многостанционный доступ с частотным разделением каналов) — метод доступа, при котором для каждого канала выделена отдельная полоса частот;

GSM (global system for mobile communication) (глобальная система подвижной связи) — сотовая мобильная система связи. Распространена во всех странах;

HIPERPLAN (high performance radio local area network) — высокоскоростная локальная радиосеть;

IMT-2000 (international mobile telecommunications — 2000) — технология сотовой мобильной технологии связи 3-го поколения, охватывающей все виды мобильной связи, обеспечивающей получение пользователем высококачественных цветных изображений;

NADC (north american digital cellular) (северо-американская цифровая сотовая система связи) — цифровая сотовая мобильная система связи, также известная как D-AMPS. Широко используется в Северной Америке;

PDC (personal digital cellular system) (сотовая система персональной связи с использованием портативных телефонов) — сотовая мобильная система связи. Широко используется в Японии;

PHS (personal handy phone system) (персональная ручная телефонная система) — бесшнуровая телефонная система. Широко используется в Японии;

RFID (radio frequency identification) — системы радиочастотной идентификации, обеспечивающие идентификацию изделий, сигнализацию, идентификацию персонала, контроль доступа, контроль приближения;

RTTT (road traffic & transport telematics) — системы регулирования дорожного движения;

TDMA (time division multiple access) — см. раздел 3;

TDD (time division duplex) (дуплексная передача с временным разделением) — двусторонняя передача цифровой информации на одной несущей с уплотнением каналов приема и передачи в разных временных интервалах одного кадра.

Таблица G.1 — Подвижное и портативное оборудование

Параметр системы	Наименование системы								
	GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDS	PHS	NADS	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
Частота передатчика	890—915 МГц	1,71—1,784 ГГц	1,88—1,96 ГГц	864—868 МГц	940—956 МГц 1,429–1,453 ГГц	1, 895—1,918 ГГц	825—845 МГц	1900—1920 МГц	1920—1980 МГц

Окончание таблицы G.1

Параметр системы	Наименование системы								
	GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDS	PHS	NADS	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
Метод доступа	TDMA	TDMA	TDMA/ TDD	FDMA/ TDD	TDMA	TDMA/ TDD	TDMA	CDMA/ TDMA TDD	CDMA/ TDMA FDD
Частота повторения пачек	217 Гц	217 Гц	100 Гц	500 Гц	50 Гц	200 Гц	50 Гц	—	—
Коэффициент заполнения	1:8	1:8	1:24, 1:48, 1:12	1:12	1:3	1:8	1:3	Непрерывная передача	Непрерывная передача
Максимальная эффективная излучаемая мощность	0,8; 2; 5; 8; 20 Вт	0,25; 1; 4 Вт	0,25 Вт	< 10 мВт	0,8; 2 Вт	10 мВт	< 6 Вт	0,25 Вт	0,25 Вт
Вторичная модуляция	2 Гц (DTX) и от 0,16 до 8,3 Гц (многокадровая)	2 Гц (DTX) и от 0,16 до 8,3 Гц (многокадровая)	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
География применения	Во всех странах	Во всех странах	Страны Европы	Страны Европы	Япония	Япония	США	Страны Европы	Страны Европы
Примечание — Рассматривается замена CT-3 на DECT.									

Таблица G.2 — Базовые станции

Параметр системы	Наименование системы								
	GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDS	PHS	NADS	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
Частота передатчика	935—960 МГц	1,805—1,88 ГГц	1,88—1,96 ГГц	864—868 МГц	810—826 МГц и 1,477—1,501 ГГц	1,895–1,918 ГГц	870–890 МГц	1900—1920 МГц	2110—2170 МГц
Метод доступа	TDMA	TDMA	TDMA/ TDD	FDMA/ TDD	TDMA	TDMA/ TDD	TDMA	CDMA/ TDMA TDD	CDMA/ TDMA FDD
Частота повторения пачек	217 Гц	217 Гц	100 Гц	500 Гц	50 Гц	200 Гц	50 Гц	—	—
Коэффициент заполнения	От 1:8 до 8:8	От 1:8 до 8:8	1:2	1:2	От 1:3 до 3:3	1:8	От 1:3 до 3:3	Непрерывная передача	Непрерывная передача
Максимальная эффективная излучаемая мощность	От 2,5 до 320 Вт	От 2,5 до 320 Вт	0,25 Вт	0,25 Вт	От 1 до 96 Вт	От 10 до 500 мВт	500 Вт	20 Вт	20 Вт
Вторичная модуляция	2 Гц (DTX) и от 0,16 до 8,3 Гц (многокадровая)	2 Гц (DTX) и от 0,16 до 8,3 Гц (многокадровая)	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует

Окончание таблицы G.2

Параметр системы	Наименование системы								
	GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDS	PHS	NADS	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
География применения	Во всех странах	Во всех странах	Страны Европы	Страны Европы	Япония	Япония	США	Страны Европы	Страны Европы
Примечание — Рассматривается замена CT-3 на DECT.									

Таблица G.3 — Другие радиочастотные устройства

Параметр системы	Наименование системы					
	RFID	RTTT	Широкополосные системы передачи данных и радиосети HIPERPLAN			Различные системы малого радиуса действия
Частота передатчика	2446—2454 МГц	5795—5815 МГц	2400—2483,5 МГц	5150—5350 МГц	5470—5725 МГц	2400—2483,5; 5725—5785 МГц
Вид модуляции	Скачкообразная перестройка частоты (при мощности более 0,5 Вт)	Нет	Скачкообразная перестройка частоты	Нет	Нет	Нет
Максимальная эффективная излучаемая мощность	a) 500 мВт; b) 4 Вт	2 или 8 Вт	100 мВт	200 мВт	1 Вт	10 и 25 мВт
Коэффициент заполнения	a) До 100 %; b) менее 15 % в период повторения 200 мс	Не ограничен	Не ограничен	Не ограничен	Не ограничен	Не ограничен
Частота повторения пачек	217 Гц	217 Гц	100 Гц	500 Гц	50 Гц	200 Гц
Разнос каналов	Отсутствует	5, 10 МГц	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует
География применения	Во всех странах	Во всех странах	Во всех странах	Во всех странах	Во всех странах	Во всех странах

Приложение Н
(обязательное)

Альтернативный метод облучения для частот свыше 1 ГГц (метод независимых окон)

Н.1 Введение

При испытаниях на частотах свыше 1 ГГц с использованием метода независимых окон (например, в полосе частот цифровых радиотелефонов) испытательное расстояние должно быть 1 м. Соответствие требованиям однородности испытательного поля проверяют при этом испытательном расстоянии.

Примечание 1 — При испытательном расстоянии 3 м и использовании антенны с узкой диаграммой направленности, а также в камере с ферритовым покрытием на частотах свыше 1 ГГц трудно обеспечить требуемую однородность поля в плоскости однородного поля размерами 1,5 × 1,5 м.

В соответствии с альтернативным методом независимых окон, используемым для облучения ИО на частотах свыше 1 ГГц, плоскость однородного поля, подлежащую калибровке, разделяют на соответствующие окна размерами 0,5 × 0,5 м так, чтобы охватить всю площадь, занимаемую лицевой стороной ИО [см. рисунки Н.1.а), Н.1 b)]. Однородность поля должна быть обеспечена путем независимой калибровки в каждом окне отдельно (см. рисунок Н.2) в соответствии с процедурой, указанной ниже. Излучающую антенну следует располагать на расстоянии 1 м от плоскости калибровки.

Примечание 2 — Длины кабелей и их расположение являются менее критичными на частотах свыше 1 ГГц. Поэтому размеры лицевой стороны ИО являются определяющим фактором при установлении размеров плоскости калибруемого однородного поля.

Н.2 Калибровка поля

Для каждого выбранного окна процедура калибровки заключается в следующем:

a) располагают измерительную антенну (датчик) в одном из четырех углов выбранного окна;

b) на излучающую антенну подают сигнал такой мощности, чтобы значение напряженности поля на дискретных частотах в пределах установленной для испытаний полосы частот составляло от 3 до 10 В/м, причем шаг изменения частоты должен составлять 1 % начального (предыдущего) значения частоты.

Регистрируют соответствующие значения подводимой к излучающей антенне мощности сигнала и напряженности поля;

c) при том же значении подводимой к антенне мощности измеряют и регистрируют значения напряженности поля для остальных трех точек в углах выбранного окна. Разброс всех четырех значений напряженности поля должен находиться в пределах от 0 до 6 дБ;

d) принимают точку измерения, в которой значение напряженности поля минимально, за опорную (это обеспечит для других точек соответствие требованиям к отклонению напряженности поля в пределах от 0 до + 6 дБ);

e) по известной подводимой к антенне мощности и соответствующей ей напряженности поля рассчитывают необходимую мощность сигнала, при которой обеспечивается требуемая испытательная напряженность поля (например, если при мощности сигнала 80 Вт напряженность поля в выбранной точке будет равна 9 В/м, то для создания поля напряженностью 3 В/м подаваемая мощность должна быть 8,9 Вт). Рассчитанное значение подаваемой мощности регистрируют;

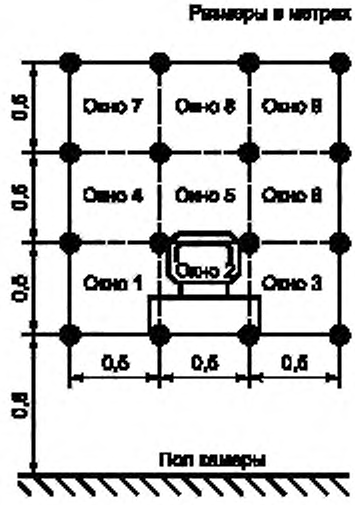
f) повторяют шаги по перечислениям a)—e) для горизонтальной и вертикальной поляризаций поля.

Излучающие антенны и кабели, которые применяли при калибровке поля, следует применять и при проведении испытаний, что позволяет не учитывать потери в кабелях и коэффициенты калибровки антенн при установлении напряженности испытательного поля.

Расположение излучающих антенн и кабелей должно быть зафиксировано как можно точнее. При проведении испытаний антенны и кабели должны быть размещены так же, как и при калибровке поля. Их незначительные смещения оказывают существенное влияние на испытательное поле.

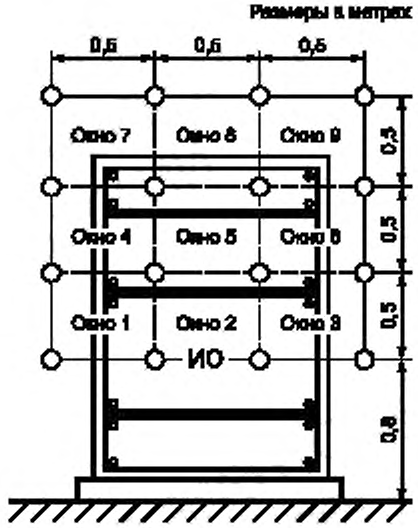
В процессе испытаний на каждой частоте на излучающую антенну подают мощность в соответствии с перечислением e).

Испытание повторяют поочередно для каждого из окон, при этом антенну позиционируют каждый раз так, чтобы облучению подвергалось требуемое окно (см. рисунки Н.1 и Н.2).



Концепция калибровки:
1) зона калибровки разделена на окна размерами 0.5 × 0,5 м;
2) для всех окон, покрывающих лицевую сторону конкретного ИО и кабели, необходимо проведение калибровки.
В настоящем примере для калибровки и испытаний используются окна 1—3 и 5.

a) Пример разделения для настольного оборудования



Концепция калибровки
1) зона калибровки разделена на окна размерами 0.5 × 0,5 м;
2) для всех окон, покрывающих лицевую сторону конкретного ИО и кабели, необходимо проведение калибровки.
В настоящем примере для калибровки и испытаний используются окна 1—9

b) Пример разделения для напольного оборудования

Рисунок Н.1 — Примеры разделения плоскости однородного поля на независимые окна размерами 0,5 × 0,5 м

Размеры в метрах

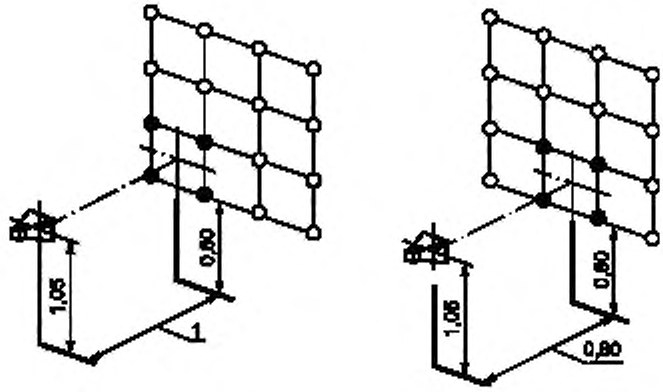


Рисунок Н.2 — Пример последовательного облучения окон

Приложение I
(справочное)

Метод калибровки пробников Е-поля

I.1 Обзор

В процедурах калибровки однородного поля в соответствии с IEC 61000-4-3 интенсивно используются широкополосные пробники Е-поля с большим динамическим диапазоном. Качество калибровки с использованием пробника поля непосредственно влияет на бюджет неопределенности при испытаниях на устойчивость к излученному электромагнитному полю.

Обычно при калибровке однородного поля в соответствии с IEC 61000-4-3 пробники используют для измерения относительно низких значений напряженности поля, например в пределах 1—30 В/м. Поэтому при калибровке пробников Е-поля, используемых по IEC 61000-4-3, следует рассматривать частоту и динамический диапазон.

Если пробники калибруются в разных калибровочных лабораториях, результаты их калибровки, как правило, различны. Поэтому должны быть установлены обстановка и методы калибровки пробников. В настоящем приложении приведена информация о калибровке пробников, используемых по IEC 61000-4-3.

Одним из наиболее широко используемых методов калибровки пробников для применений IEC 61000-4-3 в полосе частот от нескольких сотен мегагерц до нескольких гигагерц является использование рупорных антенн стандартного усиления для создания опорного поля внутри безэховой камеры. Однако для этого метода отсутствует установленный метод валидации испытательной обстановки при калибровке пробника поля. При использовании этого метода наблюдаются различия между калибровочными лабораториями, выходящие за пределы их заявленных неопределенностей измерений.

Калибровка пробников в полосе частот от 80 МГц до нескольких сотен МГц, которая обычно проводится в ТЕМ-волноводах, дает, как правило, более воспроизводимые результаты.

Поэтому настоящее приложение концентрируется на улучшении калибровки пробников с использованием рупорных антенн в безэховых камерах, для которых отсутствуют исчерпывающие процедуры калибровки.

I.2 Требования к калибровке пробника

I.2.1 Общие положения

Калибровка пробников Е-поля, предназначенных для использования в процедурах калибровки поля в плоскости однородного поля (UFA) по IEC 61000-4-3, должна удовлетворять следующим требованиям.

I.2.2 Полоса частот при калибровке

Полоса частот должна быть обычно от 80 МГЦ до 6 ГГц, но может быть ограничена полосой частот, требуемой для испытания.

I.2.3 Шаги частоты

Чтобы было возможно сравнивать результаты различных калибровочных лабораторий, необходимо для калибровки использовать фиксированные частоты.

80 МГц—1 ГГц:

- используют следующие частоты для калибровки пробников Е-поля (типичный шаг 50 МГц):

80, 100, 150, 200,..., 950, 1000 МГц.

1—6 ГГц;

- используют следующие частоты для калибровки пробников Е-поля (типичный шаг 200 МГц):

1000, 1200, 1400,..., 5800, 6000 МГц.

Примечание — Если пробник используется в полосах частот ниже и выше 1 ГГц, измерения пробника на частоте 1 ГГц должны быть проведены дважды.

I.2.4 Напряженность поля

Выбор напряженности поля, при которой пробник калибруют, должен быть основан на значении напряженности поля, требуемой для проведения испытания на помехоустойчивость.

Так как для обеспечения однородности испытательного поля процедуру калибровки следует проводить при напряженности поля по меньшей мере в 1,8 раза превышающей напряженность поля, воздействующего на ИО при испытаниях, рекомендуется, чтобы калибровка пробника была проведена при напряженности поля, превышающей напряженность поля при испытаниях в два раза (см. таблицу I.1). Если пробник должен быть использован при различных уровнях поля, он должен быть калиброван при нескольких уровнях в соответствии с его линейностью, как минимум, при минимальном и максимальном уровнях (см. также I.3.2).

Примечание 1 — При этом также удовлетворяются требования к компрессии 1 дБ усилителя мощности.

Примечание 2 — Калибровку проводят с использованием непрерывных сигналов без модуляции.

Таблица I.1 — Уровень напряженности поля при калибровке

Уровень калибровки	Напряженность поля при калибровке В/м
1	2
2	6
3	20
4	60
X	*Y*
Примечание — *X*,*Y* — открытый уровень калибровки, который может быть выше или ниже, чем один из уровней 1—4. Этот уровень может быть установлен в спецификации на продукцию или испытательной лабораторией.	

I.3 Требования к оборудованию для калибровки

I.3.1 Гармонические и нежелательные сигналы

Любые гармонические или нежелательные сигналы, создаваемые усилителями мощности, должны быть по меньшей мере на 20 дБ ниже уровня сигнала несущей частоты. Это необходимо для всех уровней напряженности поля, используемых при калибровке и проверке линейности.

Так как содержание гармоник усилителей мощности обычно увеличивается при повышении мощности, измерения гармонических сигналов следует проводить только при наивысших уровнях напряженности поля при калибровке.

Измерения гармоник следует проводить с применением калиброванного анализатора спектра, который подключают к выходу усилителя через аттенюатор или направленный ответвитель.

Примечание 1 — Учитывая, что антенна может оказать дополнительное влияние на содержание гармоник, может потребоваться ее дополнительная проверка.

Калибровочные лаборатории должны выполнять измерения для подтверждения того, что гармонические и нежелательные сигналы, создаваемые усилителем, соответствуют требованиям для всех измерительных установок. Это может быть выполнено при подключении анализатора спектра к порту *3* направленного ответвителя (с заменой измерителя мощности анализатором спектра, см. рисунок I.2).

Примечание 2 — Следует проверить, что уровень мощности не превышает максимально допустимого уровня мощности на входе анализатора спектра. При необходимости может быть использован аттенюатор.

Изменение частоты должно охватывать по меньшей мере третью гармонику применяемой частоты. Измерения для подтверждения должны быть проведены при уровне мощности, обеспечивающем создание наивысшей применяемой напряженности поля.

Для повышения спектральной чистоты усилителей мощности могут быть использованы фильтры гармоник (см. приложение D).

I.3.2 Проверка линейности пробника

Линейность пробника, который используют для валидации камеры в соответствии с I.4.2.5, должна быть в пределах ± 0,5 дБ от идеального линейного отклика в требуемом динамическом диапазоне (см. рисунок I.1). Линейность должна быть подтверждена для всех значений динамического диапазона, если пробник имеет различные уставки усиления.

В основном линейность пробника существенно не изменяется с частотой. Поэтому проверки линейности могут быть проведены на отдельной частоте, близкой к центральной области применимой полосы частот, где отклик пробника достаточно постоянен при изменении частоты. Выбранная частота должна быть отражена в сертификате калибровки.

При измерении линейности следует использовать напряженность поля в пределах от минус 6 до плюс 6 дБ напряженности поля, которая используется при валидации камеры, с достаточно малым шагом, например 1 дБ.

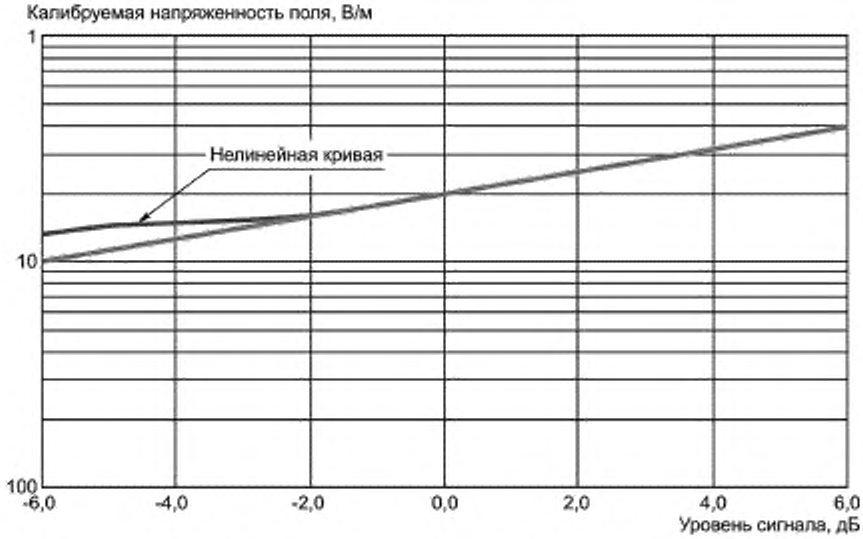


Рисунок I.1 — Пример линейности пробника

В таблице I.2 приведен пример уровней напряженности поля при проверке линейности пробника для применений 20 В/м.

Таблица I.2 — Пример проверки линейности пробника

Уровень сигнала, dB	Напряженность поля при калибровке, В/м
–6,0	13,2
–5,0	14,4
–4,0	14,8
–3,0	15,2
–2,0	16,3
–1,0	18,0
0,0	20,0
1,0	22,2
2,0	24,7
3,0	27,4
4,0	30,5
5,0	34,0
6,0	38,0

I.3.3 Определение усиления стандартных пирамидальных рупорных антенн

Усиление стандартной пирамидальной рупорной антенны в поле дальней зоны может быть определено с достаточной точностью (неопределенность менее 0,1 дБ, как указано в [1][1)]). Усиление в дальней зоне подтверждается в типичном случае на расстояниях, больших 8 D^2/λ, где D — наибольшее измерение апертуры рупора и λ — длина волны.

Калибровка пробников поля при таких расстояниях может быть неэффективной из-за того, что требуются большая безэховая камера и усилители высокой мощности. Пробники поля, как правило, калибруются в области ближнего поля передающих антенн. Усиление в ближней зоне рупорных антенн со стандартным усилением определяют с использованием уравнений, аналогичных приведенным в [2]. Усиление рассчитывают на основе физических измерений стандартного пирамидального рупора и предположения о квадратичном распределении

[1)] Цифры в квадратных скобках указывают на ссылочные документы в I.6.

поля в апертуре рупора. Усиление, определяемое таким образом, неадекватно для использования при испытаниях коэффициента стоячей волны (VSWR) камеры и при последующих калибровках пробника.

Уравнения, как указано в [2], были получены с использованием интегрирования по апертуре, в предположении, что на апертуре рупора отсутствуют отражения и что имеет место поле моды TE_{10}, но с квадратичным распределением фазы по апертуре.

При интегрировании для получения результатов в сжатой форме были применены некоторые приближения. Другие эффекты, такие как множественные отражения от края рупора и наличие мод высокого порядка, не учитывали. В зависимости от частоты и конструкции рупора ошибки в основном находятся в пределах ± 0,5 дБ, но могут быть больше.

Для большей точности может быть применен численный метод, использующий суммирование полной волны. Например, при расчете усиления численным методом неопределенности могут быть понижены менее чем до 5 % [3].

Усиление рупорной антенны может быть также определено экспериментально. Например, усиление может быть определено на уменьшенных расстояниях методом трех антенн, как указано в [4], или с использованием некоторых вариаций этого метода.

Рекомендуется, чтобы при калибровке расстояние между рупорной антенной и испытуемым пробником было по меньшей мере $0,5\ D^2/\lambda$.

При меньших расстояниях неопределенности результатов определения усиления антенн возрастают. Кроме того, между антенной и пробником при меньших расстояниях могут образовываться стоячие волны, что также приведет к повышению неопределенности измерений при калибровке.

I.4 Калибровка пробника поля в безэховых камерах

I.4.1 Обстановка при калибровке

Калибровку пробника следует проводить в полностью безэховой камере (FAR) или в полубезэховой камере с поглотителями, установленными на пластине заземления, которая удовлетворяет требованиям I.4.2.

При использовании FAR рекомендуемые минимальные размеры внутреннего рабочего объема FAR для проведения калибровки пробника составляют 5 м (длина) × 3 м (ширина) × 3 м (высота).

Примечание 1 — Для частот свыше нескольких сотен мегагерц одним из наиболее широко используемых методов калибровки пробников для применений IEC 61000-4-3 в полосе до нескольких гигагерц является использование рупорных антенн стандартного усиления для создания опорного поля внутри безэховой камеры. На более низких частотах, таких как от 80 МГц до нескольких сотен мегагерц, использование безэховой камеры может быть непрактичным. Поэтому пробник поля может быть калиброван в других установках, также используемых для испытаний устойчивости к электромагнитным полям. Поэтому ТЕМ-волноводы и т. д. включены в настоящее приложение в качестве альтернативных обстановок для калибровки при таких низких частотах.

Система и электромагнитная обстановка при калибровке пробника поля должны отвечать требованиям, указанным ниже.

Примечание 2 — Альтернативно электрическое поле может быть установлено с использованием преобразовательного пробника (см. I.5.4).

I.4.2 Валидация безэховых камер для калибровки пробника поля

Измерения при калибровке предполагают обстановку свободного пространства. Поэтому должны быть проведены испытания коэффициента стоячей волны камеры (VSWR), чтобы решить вопрос о ее пригодности. Метод валидации характеризует качество камеры и абсорбирующего материала.

Каждый пробник имеет особый объем и физические размеры, например связанные с кожухом для батареи и/или функциональной платой. При использовании других процедур калибровки требуется наличие сферической зоны в объеме калибровки. В соответствии с требованиями настоящего приложения используют измерения VSWR в точках испытаний, расположенных на оси луча антенны.

Испытательные оправки (такие, как устройства для фиксации пробника в пространстве, которые могут подвергаться воздействию электромагнитных полей и оказывать влияние на калибровку) не могут быть полностью оценены. Для валидации влияния оправок требуются отдельные испытания.

I.4.2.1 Измерение мощности, поступающей к передающему устройству, с использованием направленного ответвителя

Мощность, поступающая к передающему устройству, может быть измерена с применением четырехточечного двунаправленного ответвителя или двух трехточечных направленных ответвителей, соединенных «back-to-back» (формируя так называемый «двойной направленный ответвитель»). Общая установка с использованием двунаправленного ответвителя для измерения мощности, поступающей к передающему устройству, показана на рисунке I.2.

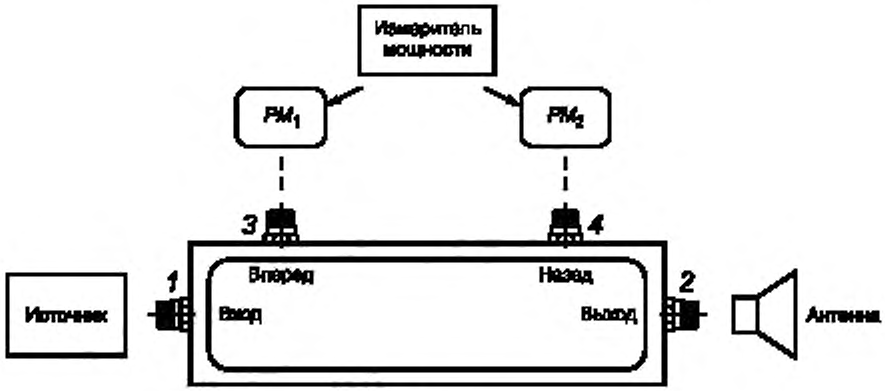


Рисунок I.2 — Установка для измерения мощности, поступающей к передающему устройству

В случае, если каждый из портов *1*, *2*, *3*, *4* подключается к согласованному источнику и согласованным нагрузкам, прямая связь, обратная связь и связь передачи определяются следующими уравнениями:

$$C_{fwd} = P_3/P_1,\ C_{rev} = P_4/P_2,\ C_{trans} = P_2/P_1, \tag{I.1}$$

где P_1, P_2, P_3, P_4 — мощности в портах 1, 2, 3, 4 направленного ответвителя соответственно.

Тогда мощность, поступающая к передающему устройству:

$$P_{net} = C_{trans}/C_{fwd}\,PM_1 - PM_2/C_{rev}, \tag{I.2}$$

где PM_1, PM_2 — показания измерителя мощности в линейных цепях.

Если известно значение VSWR антенны, может быть применен один трехточечный ответвитель. Например, если VSWR антенны 1,5, это эквивалентно коэффициенту отражения напряжения (VRC) 0,2.

На точность влияет проводимость ответвителя. Проводимость представляет собой меру способности ответвителя отделять прямые и обратные сигналы. Для хорошо согласованного передающего устройства обратная мощность много меньше, чем прямая мощность. Эффект проводимости, следовательно, менее важен, чем в применении к отражениям. Например, если VSWR передающей антенны 1,5 и проводимость ответвителя 20 дБ, то абсолютная максимальная неопределенность поступающей мощности из-за конечной проводимости равна 0,22 дБ – 0,18 дБ = 0,04 дБ при *U*-образном распределении, где 0,22 дБ — потери мощности из-за VSWR 1,5.

Мощность, поступающая к передающему устройству:

$$P_{net} = C_{fwd}\,PM_1(1 - \mathrm{VRC}^2). \tag{I.3}$$

I.4.2.2 Установление стандартного поля с использованием рупорной антенны

Усиление рупорной антенны определяют методами, приведенными в I.3.3. Электрическое поле (по оси) определяется выражением

$$E = \sqrt{\frac{\eta_0 P_{net} g}{4\pi}}\,\frac{1}{d}, \tag{I.4}$$

где η_0 = 377 Ом для свободного пространства;

P_{net} — поступающая мощность, Вт, определяемая по I.4.2.1;

g — численное значение усиления антенны, определяемое по I.3.3;

d — расстояние от апертуры антенны.

I.4.2.3 Валидация камеры: испытательная полоса частот и шаги частоты

При испытании в целях определения VSWR камеры применяют полосу частот, в которой необходима калибровка пробника, и используют шаги частоты по I.2.3.

Испытания в целях определения VSWR проводят в камере на самой низкой и самой высокой рабочих частотах каждой антенны. При использовании узкополосных поглотителей, например ферритов, необходимы измерения в большем числе частотных точек. Камеру следует применять для калибровки пробника только в той полосе частот, где она прошла процедуру валидации камеры.

I.4.2.4 Процедура валидации камеры

Камера, используемая для калибровки пробника, должна быть проверена с проведением процедуры, указанной ниже, исключая случаи, когда физические условия камеры не позволяют применить такую процедуру. В этом случае может быть применен альтернативный метод I.4.2.7.

Пробник должен быть размещен в измерительной позиции с использованием поддерживающего устройства из материала с низкой проницаемостью (например, пены из полистирола) в соответствии с рисунками I.3 и I.4.

Пробник размещают в том месте, где он будет использован при калибровке. Для определения VSWR камеры поляризация пробника и его местоположение вдоль оси луча передающей рупорной антенны будут изменяться. Следует использовать одну и ту же передающую антенну для испытания камеры и калибровки пробника.

Расположение внутри камеры рупорной антенны стандартного усиления и пробника показано на рисунке I.3. Пробник и рупорная антенна должны быть расположены на одной и той же горизонтальной оси при разделительном расстоянии L, измеряемом от фронтальной поверхности антенны до центра пробника. В каждом случае пробник поля должен быть размещен напротив центра поверхности рупорной антенны.

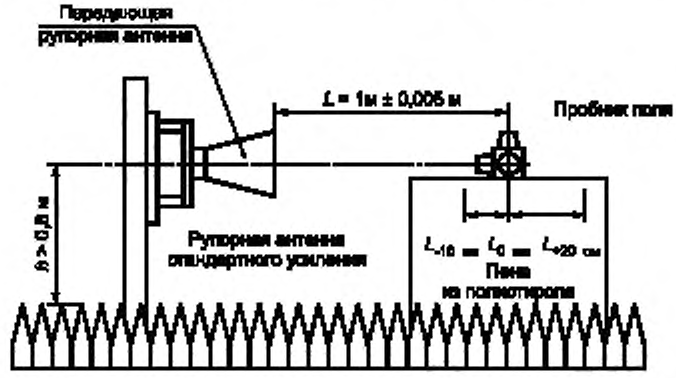


Рисунок I.3 — Испытательная установка для валидации камеры

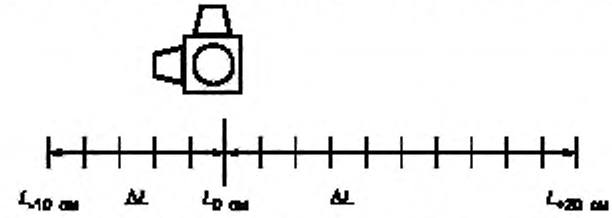


Рисунок I.4 — Детализация измерительной позиции ΔL

Установка для валидации камеры показана на рисунках I.3 и I.4, где расстояние от $L_{-10\ см}$ до $L_{+20\ см}$ представляет собой расстояние калибровки пробника, измеряемое от лицевой стороны рупорной антенны до центра пробника поля. Расстояние $L_{0\ см}$ определяется как позиция 0.

Позиции должны быть $L_{-10\ см}$, $L_{-8\ см}$, $L_{-6\ см}$, ..., L_0, $L_{+2\ см}$, $L_{+4\ см}$, ..., $L_{+20\ см}$, ΔL = 2 см.

Если пробник размещен в ближнем поле передающей рупорной антенны (расстояние < 2 D^2/λ, где D — наибольшее измерение антенны и λ — длина волны в свободном пространстве), усиление передающей антенны не является постоянным и должно быть определено для каждой позиции.

Для всех позиций пробника на антенну подают постоянную мощность, создающую определенную напряженность поля (например, 20 В/м) на расстоянии 1 м. При вертикальной поляризации передающей антенны и пробника поля регистрируют показания пробника во всех позициях и на всех частотах. Испытания повторяют при горизонтальной поляризации передающей антенны и пробника поля.

Все показания должны соответствовать требованиям, приведенным в I.4.2.5.

I.4.2.5 Критерий соответствия требованиям к VSWR

Результаты измерения VSWR необходимо сравнить с использованием приведенной ниже процедуры (для расчетов напряженности поля см. I.4.2.2).

a) Расчет напряженности поля

Напряженность электрического поля в зоне расстояний от 90 до 120 см рассчитывают для шагов 2 см и для каждой частоты.

Расчет основывается на напряженности E-поля на расстоянии 1 м, используемой при верификации.

b) Корректировка данных

Следует провести корректировку данных, используя процесс, указанный ниже, т. к. пробник, используемый для измерения VSWR, может не обеспечивать показаний, применимых для расчетов напряженности поля:

- значение показания пробника E-поля на расстоянии 1 м должно быть приведено к расчетному значению для позиции 1 м. Полученную разность между показаниями пробника и вычисленной напряженностью поля используют в качестве корректировочного значения k для всех данных при 90 см и 120 см.

Например, проводится сравнение между значением измерения пробника V_{mv} (например, 21 В/м) и рассчитанным значением V_{cv} (например, 20 В/м) при расстоянии 1 м. В этом случае корректировочное значение k равно $V_{cv} - V_{mv} = -1$ В/м;

- корректировочное значение k добавляют к данным, полученным в измерительных позициях от 90 до 120 см;

- такие расчеты проводят для всех измеренных значений на всех частотах измерения. Для примера, указанного выше, $k = -1$ В/м. Следовательно, $k = -1$ добавляют ко всем измеренным данным пробника.

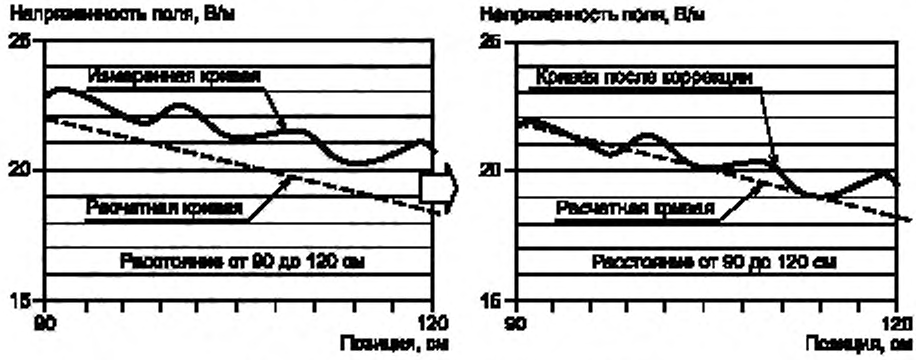


Рисунок I.5 — Пример корректировки данных

c) Сравнение измеренных и расчетных данных

Если разность данных расчетной кривой и кривой измерений превышает ± 0,5 дБ в любой измерительной позиции, применение данной безэховой камеры для калибровки пробника не допускается.

Примечание — Критерий 0,5 дБ установлен в соответствии с бюджетом неопределенности и был проверен в нескольких действующих камерах, пригодных для калибровки пробников поля (включая по меньшей мере один национальный институт калибровки средств измерений). Данный критерий не является единственным вкладом в неопределенность измерений.

Некоторые пробники поля имеют металлический кожух или выступ, например для батареи или схем. На определенных расстояниях или частотах эти блоки могут вызвать ошибки за счет отражения. При использовании таких пробников влияние отражений должно быть минимизировано, например путем вращения пробника или изменения его ориентации.

I.4.2.6 Валидация устройств крепления пробников

Устройства крепления пробников могут вызвать отражения электромагнитных полей при калибровке пробника. Следовательно, влияние устройств крепления на результаты калибровки должно быть проверено в первую очередь.

Процедура, установленная в настоящем пункте, должна быть проведена для любого нового используемого крепления пробника.

Процедура:

a) размещают пробник на опорной подставке, изготовленной из материала с относительной проницаемостью менее 1,2 и тангенсом угла потерь менее 0,005. Размещение пробника должно быть таким же, как в установке для калибровки. Опорное крепление должно иметь минимальные размеры. Любая структура поддержки должна быть удалена от пробника не менее чем на 50 см и не нарушать распределение поля (по возможности). Элементы поддержки впереди пробника (между антенной и пробником) и позади пробника должны быть исключены;

b) создают стандартное поле в пределах динамического диапазона пробника в позиции для калибровки;

c) регистрируют показания пробника для всех частотных точек калибровки. Поворачивают пробник или изменяют его положение, как это необходимо с учетом всех геометрий калибровки (для трехосных изотропных пробников поля каждая ось должна быть проверена отдельно), и повторяют шаги 1 и 2. Регистрируют показания пробника для всех ориентаций;

d) удаляют опорное устройство крепления и заменяют его на проверяемое устройство. Повторяют шаги 2 и 3;

e) сравнивают результаты шагов 3 и 4. Разница между показаниями с двумя устройствами крепления при одной и той же ориентации пробника должна быть менее ± 0,5 дБ.

I.4.2.7 Альтернативная процедура валидации камеры

Данная альтернативная процедура валидации камеры применима, если не может быть использована процедура валидации по I.4.2.4.

Для определения VSWR камеры поляризация пробника и его местоположение вдоль оси луча передающей рупорной антенны будут изменяться. Следует использовать одну и ту же передающую антенну для испытания камеры и калибровки пробника.

Испытательная установка показана на рисунках I.6 и I.7. Расстояние калибровки пробника, измеряемое от лицевой стороны рупорной антенны до центра пробника поля, поддерживается постоянным и равным 1 м.

Для исключения влияний на результаты измерений следует при креплении пробника использовать материал с низкой проницаемостью. Устройство для крепления должно быть проверено отдельно (см. I.4.2.6).

Позиции должны быть следующими: $L_{-30\ см}$, $L_{-25\ см}$, $L_{-20\ см}$, ..., L_0, $L_{+5\ см}$, $L_{+10\ см}$, ..., $L_{+30\ см}$, ΔL = 5 см.

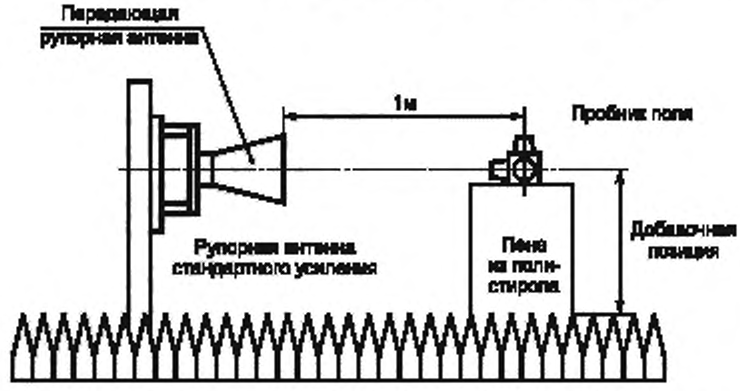


Рисунок I.6 — Пример испытательного расположения антенны и пробника

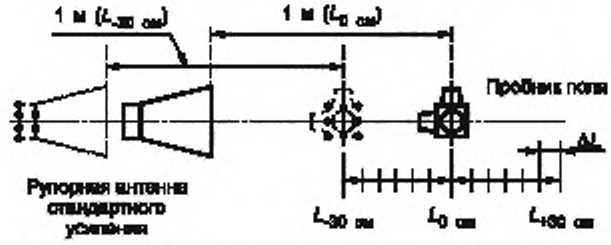


Рисунок I.7 — Испытательная установка для валидации камеры

Для всех позиций генерируется постоянное поле, например 20 В/м. Напряженность создаваемого поля должна быть в пределах динамического диапазона пробника поля. При вертикальной поляризации передающей антенны и пробника поля регистрируют показания пробника во всех позициях и на всех частотах. Испытания повторяют при горизонтальной поляризации передающей антенны и пробника поля.

На каждой частоте получают 26 независимых показаний пробника (13 позиций и две поляризации). Максимальный разброс показаний на каждой частоте должен быть менее ± 0,5 дБ (рисунок I.8).

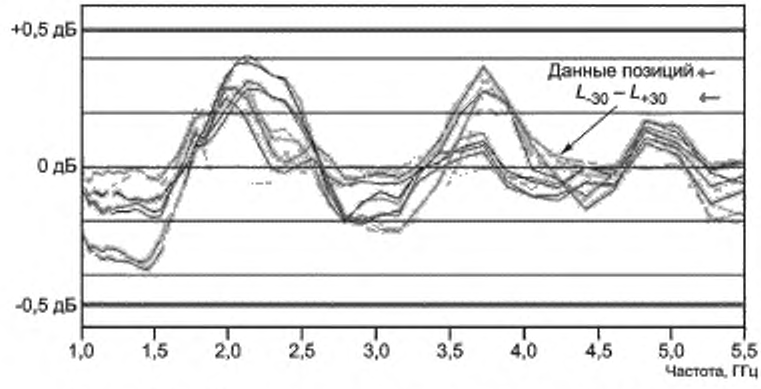


Рисунок I.8 — Пример данных альтернативной валидации камеры

I.4.3 Процедура калибровки пробника

Многие современные пробники позволяют применять внутренние коэффициенты коррекции для обеспечения линейного отклика. Калибровочные лаборатории могут изменять эти коэффициенты коррекции, чтобы получить линейность пробника в пределах ± 0,5 дБ от идеальной. При проведении данной процедуры калибровочные лаборатории должны регистрировать сведения об отклике пробника перед корректировкой и после нее. Процесс проверки линейности пробника следует применять ко всем калибруемым пробникам. О влиянии нелинейности системы калибровки см. I.3.2.

Примечание — При невозможности корректировки пробника любую нелинейность следует компенсировать при использовании пробника для проведения калибровки однородности поля.

Измерительная система и обстановка при калибровке пробника должны соответствовать требованиям I.4.

I.4.3.1 Испытательная установка

Устройство крепления, которое не полностью соответствует требованиям I.4.2.6, может привести к большой неопределенности измерений. Поэтому должна быть проведена валидация устройства крепления по I.4.2.6.

Калибровку пробника поля следует проводить в соответствии со спецификацией пользователя или спецификацией изготовителя, относящейся к ориентации пробника. Данную ориентацию следует также использовать в испытательной лаборатории для уменьшения эффектов изотропии.

Если изготовитель не устанавливает конкретной ориентации пробника в эксплуатационной документации, то калибровку пробника следует проводить при ориентации, которая может рассматриваться как «ориентация нормального использования», или в соответствии с предпочтительной ориентацией, определенной испытательной лабораторией, использующей пробник.

В любом случае в отчете о калибровке должна быть указана ориентация, для которой была проведена калибровка.

Примеры испытательной установки приведены на рисунках I.9 и I.10.

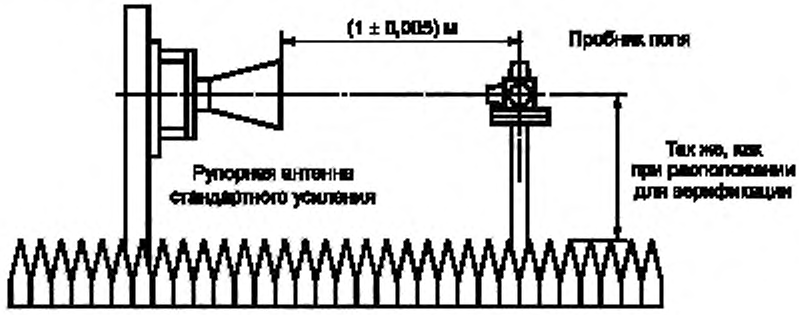


Рисунок I.9 — Расположение пробника поля при калибровке

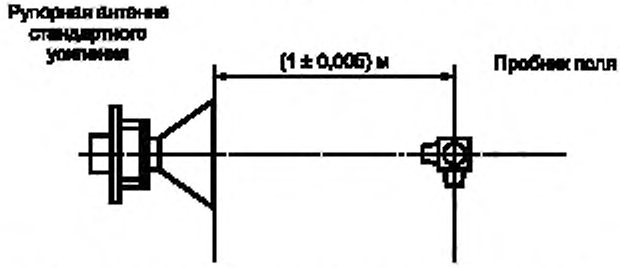


Рисунок I.10 — Расположение пробника поля при калибровке (вид сверху)

I.4.3.2 Отчет о калибровке

Результаты измерений, полученные с учетом I.4.3.1, должны быть документированы как отчет о калибровке.

Отчет о калибровке должен содержать по меньшей мере следующие сведения:

a) обстановка при калибровке;

b) изготовитель пробника;

c) обозначение типа;

d) серийный номер;

e) дата калибровки;

f) температура и влажность воздуха;
g) детальные сведения о калибровке:
- частота,
- приложенная напряженность поля, В/м,
- показание пробника, В/м,
- ориентация пробника;
h) неопределенность измерений.

Примечание — Рекомендации по неопределенности измерений приведены в IEEE Std 1309 [2].

I.5 Альтернативная калибровка пробника: обстановка и методы

Настоящий подраздел содержит сведения об обстановке альтернативных средств калибровки, например применяемых для калибровки пробника в полосе низких частот.

Калибровка может быть проведена в обстановке, которая может быть определена как отличающаяся от испытательной обстановки, установленной в настоящем стандарте. При этом учитывается, что в противоположность оборудованию, применяемому для испытаний на помехоустойчивость, пробники поля, как правило, малы и обычно не содержат проводящих кабелей.

I.5.1 Калибровка пробника поля с использованием ТЕМ-ячеек

Для установления стандартных полей в целях калибровки пробников может быть использована прямоугольная ТЕМ-ячейка. Высшая применимая частота ТЕМ-ячейки может быть определена методами, установленными в IEC 61000-4-20, подраздел 5.1. Высшая применимая частота обычно равна нескольким сотням мегагерц. Поле в центре ТЕМ-ячейки между промежуточной и верхней пластинами, В/м, рассчитывают по формуле

$$E = \frac{\sqrt{Z_0 P_{net}}}{h}, \qquad (I.5)$$

где Z_0 — характеристическое полное сопротивление ТЕМ-ячейки (как правило, 50 Ом);

P_{net} — подводимая мощность, Вт, определяемая в соответствии с I.4.2.1;

h — разделительное расстояние между промежуточной и верхней или нижней пластинами, м.

Следует принять меры, чтобы VSWR ТЕМ-ячейки был малым, например менее 1,3, что минимизирует неопределенность измерений.

Альтернативным методом измерения P_{net} является использование калиброванного аттенюатора с низким значением VSWR и датчика мощности, подключенных к выходному порту ТЕМ-ячейки.

I.5.2 Калибровка пробника поля с использованием волноводных камер

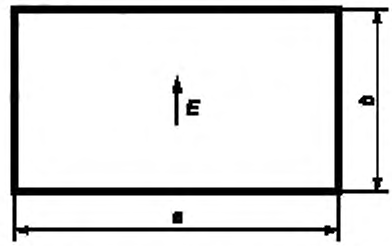


Рисунок I.11 — Поперечное сечение волноводной камеры

Калибровочные лаборатории должны обеспечить работу волноводных камер в режиме доминантной моды TE_{10}. Частоты, на которых могут возбуждаться моды высших порядков, необходимо исключить. Изготовители волноводов, как правило, указывают полосу частот, в которой может существовать только доминантная мода. Эта полоса частот может быть определена также по измерениям волновода. Использование волноводных камер ограничивается полосой частот от приблизительно 300 МГц до 1 000 МГц при типичных размерах пробников.

Для волноводной камеры с внутренними размерами a (м) × b (м) ($a > b$) частота обреза доминантной моды TE_{10}

$$(f_c)_{10} = 1/2a\sqrt{\mu\varepsilon}, \qquad (I.6)$$

где μ и ε — магнитная и электрическая проницаемость среды волновода.

Для воздушной среды волновода $\mu = \mu_0 = 400\ \pi$ нГнм$^{-1}$, $\varepsilon = \varepsilon_0 = 8{,}854$ пФм$^{-1}$.

Частота обреза для волновода с воздушной средой, МГц

$$(f_c)_{10} = 150/a. \qquad (I.7)$$

Среднеквадратичное значение E-поля в центре волновода, В/м, равно

$$E = \sqrt{\frac{2\eta_0 P_{net}}{ab\sqrt{1-\left((f_c)_{10}/f\right)^2}}}, \qquad (I.8)$$

где f — рабочая частота, МГц;

$\eta_0 = 377\ \pi$ для волновода с воздушной средой;

P_{net} — мощность, передаваемая в волновод, Вт, определяемая в соответствии с I.4.2.1.

Следует отметить, что поле внутри волноводной камеры не является TEM-волной и имеет наибольшее значение в центре волновода (с синусоидальным распределением и нулевыми значениями на боковых стенках волновода). Рекомендуется, чтобы пробник поля находился в центре волновода, где вариации распределения поля наименьшие (поле более однородно), чем в других местах. Более подробные сведения о волноводах, в том числе о расчетах частот обреза для других мод, приведены в [5].

I.5.3 Калибровка пробника поля с использованием открытых волноводов

Аналитическое и эмпирическое решения для поля ближней зоны в открытом конце волновода приведены в [6]. Учитывая, что простое теоретическое решение для поля ближней зоны в открытом конце волновода отсутствует, следует применить либо численные методы, учитывающие все волны, либо методы измерений, как указано в [4].

Если поле ближней зоны в открытом конце волновода определено, необходимо следовать процедуре, установленной в I.4.3.

I.5.4 Калибровка пробников поля методом передачи усиления

Для установки стандартных полей в полеобразующем устройстве (рабочем стандартном устройстве) может быть использован передаточный пробник. Отклик передаточного пробника может быть определен либо путем проведения теоретических расчетов (для такого пробника, как диполь), либо калибровкой, выполняемой в соответствии с методами I.5.1 или I.5.2.

Передаточная функция рабочего стандартного устройства, такого как TEM-камера гигагерцевого диапазона, может быть определена с использованием передаточного пробника. Распределение поля в рабочем стандартном устройстве следует определять передаточным пробником, т. е. поле должно быть измерено во многих местах, как это требуется для оценки однородности поля в испытательном объеме. Если передаточная функция рабочего стандартного устройства известна, то калибровка пробника может быть выполнена при других уровнях мощности, учитывая линейность рабочего стандартного устройства. Пробник, калибруемый таким образом, размещают в том же месте, где находился передаточный пробник.

Для обеспечения точности метода передачи усиления необходимо соблюдение следующих условий:

- установка не изменяется за время между выполнением процедур передачи и калибровки;
- расположение пробника при измерениях воспроизводимо;
- передаваемая мощность остается той же самой;
- испытуемый пробник конструктивно подобен передаточному пробнику (по размерам и элементам конструкции);
- кабели, подключающие сенсорную головку, не нарушают поля;
- рабочее стандартное устройство является преимущественно безэховым.

Детальная информация по этому методу приведена в [7] и [8].

I.6 Ссылочные документы

[1] STUBENRAUCH, C., NEWELL, C. A. C., REPJAR, A. C. A., MacREYNOLDS, K., TAMURA D. T., LARSON, F. H., LEMANCZYK, J., BEHE, R., PORTIER, G., ZEHREN, J. C., HOLLMANN, H., HUNTER, J. D., GENTLE, D. G., and De VREEDE, J. P. M. International Intercomparison of Horn Gain at X-Band. *IEEE Trans. On Antennas and Propagation*, October 1996, Vol. 44, No. 10 (Международное сравнение усиления рупорных антенн в диапазоне X)

[2] IEEE 1309, *Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes, Excluding Antennas, from 9 kHz to 40 GHz* (Калибровка сенсоров и пробников электромагнитного поля, исключая антенны, в полосе частот 9 кГц — 40 ГГц)

[3] KANDA, M. and KAWALKO, S. Near-zone gain of 500 MHz to 2.6 GHz rectangular standard pyramidal horns. *IEEE Trans. On EMC*, 1999, Vol. 41, No. 2 (Усиление в ближней зоне прямоугольных стандартных пирамидальных рупоров от 500 МГц до 2,6 ГГц)

[4] NEWELL, Allen C., BAIRD, Ramon C. and Wacker, Paul F. Accurate measurement of antenna gain and polarization at reduced distances by extrapolation technique. *IEEE Trans. On Antennas and Propagation*, July 1973, Vol. AP-21, No. 4 (Точное измерение усиления и поляризации антенны на уменьшенных расстояниях с применением техники экстраполяции)

[5] BALANIS, C. A. *Advanced Engineering Electromagnetics*. John Wiley & Sons, Inc., 1989, pp. 363—375 (Повышенный курс электромагнетизма для инженеров)

[6] WU, Doris I. and KANDA, Motohisa. Comparison of theoretical and experimental data for the near field of an open-ended rectangular waveguide. *IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility*, November 1989, Vol. 31, No. 4 (Сравнение теоретических и экспериментальных данных для ближней зоны открытых прямоугольных волноводов)

[7] GLIMM, J., MÜNTER, K., PAPE, R., SCHRADER, T. and SPITZER, M. *The New National Standard of EM Field Strength; Realisation and Dissemination*. 12th Int. Symposium on EMC, Zurich, Switzerland, February 18—20, 1997, ISBN 3-9521199-1-1, pp. 611—613 [Национальный стандарт напряженности электромагнитного поля (реализация и распространение)]

[8] GARN, H., BUCHMAYR, M., and MULLNER, W. Precise calibration of electric field sensors for radiated-susceptibility testing. *Frequenz* 53 (1999) 9-10, Page 190—194 (Точная калибровка сенсоров электрического поля для испытаний на восприимчивость к излучениям)

Приложение J
(справочное)

Неопределенность измерений, обусловленная испытательным оборудованием

J.1 Общие положения

Настоящее приложение содержит информацию, относящуюся к неопределенности измерений (MU) при установке испытательного уровня с учетом вопросов практического применения метода испытаний, установленного в нормативной части настоящего стандарта. Более детальная информация приведена в [1, 2][1)].

В настоящем приложении приведен пример подготовки бюджета неопределенности, основанного на установке испытательного уровня. Другие параметры возмущающей величины, такие как частота модуляции, глубина модуляции, гармонические составляющие усилителя, также могут быть необходимыми для соответствующего рассмотрения в испытательной лаборатории. Методология, приведенная в настоящем приложении, рассматривается в качестве применимой для всех параметров возмущающих величин.

Вклад в неопределенность из-за неоднородности поля, включая влияние испытательной площадки, находится на рассмотрении.

J.2 Бюджеты неопределенности при установке испытательного уровня

J.2.1 Определение измеряемой величины

Измеряемая величина представляет собой гипотетическую напряженность электрического поля (в отсутствие ИО) в точке плоскости однородного поля (UFA), выбранную с использованием процесса 6.2.1, перечисление а), и 6.2.2, перечисление а) настоящего стандарта.

J.2.2 Вклады в MU измеряемой величины

Приведенная ниже диаграмма влияний (см. рисунок J.1) представляет собой пример влияний на установку уровня. Эта диаграмма применяется как при калибровке, так и в процессе испытаний, и следует понимать, что диаграмма не является законченной.

Для бюджета неопределенности (см. таблицы J.1 и J.2) были выбраны наиболее важные вклады из диаграммы влияний. Вклады, перечисленные в таблицах J.1 и J.2, представляют собой тот минимум, который должен быть использован для расчетов бюджета неопределенности, с тем чтобы применять сравнимые бюджеты для различных испытательных площадок или лабораторий. Следует отметить, что лаборатории могут включать в расчет MU дополнительные вклады, учитывая конкретные обстоятельства.

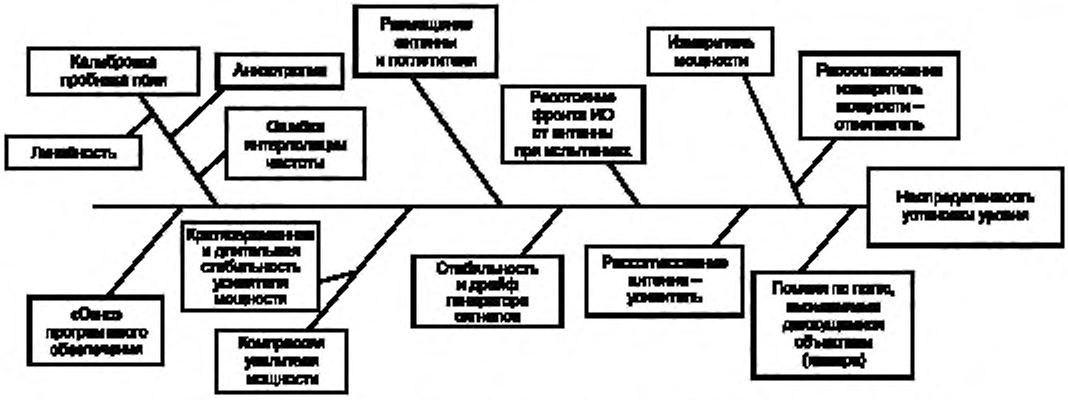


Рисунок J.1 — Пример влияний на установку уровня

J.2.3 Примеры расчетов для расширенной неопределенности

Необходимо учитывать, что вклады, которые применяют при калибровке и испытаниях, могут не быть одинаковыми. Это приводит к различным бюджетам неопределенности для каждого процесса.

В соответствии с настоящим основополагающим стандартом калибровку поля внутри камеры проводят до его воздействия на ИО при испытании. В зависимости от испытательной установки некоторые вклады при расчете MU допускается не учитывать. К ним относятся те, которые компенсируются при управлении уровнем выходной мощности усилителя, или те, которые остаются неизменными в период между калибровкой и испытанием (например, рассогласование между антенной и усилителем).

[1)] Цифры в квадратных скобках указывают на ссылочные документы в J.4.

Пробник поля и оборудование для мониторинга мощности (для которого повторяемость имеет большее значение, чем абсолютные ошибки измерения и линейность) не включены в управление уровнем выходной мощности усилителя, и их вклады должны быть рассмотрены при оценке MU.

В таблицах J.1 и J.2 приведен пример бюджета неопределенности при установке уровней. Бюджет неопределенности состоит из двух частей, относящихся к неопределенности при калибровке и неопределенности при испытании.

Таблица J.1 — Процесс калибровки

Обозначение	Источник неопределенности X_i	$U(x_i)$	Единица измерения	Распределение	Делитель	$u(x_i)$	Единица измерения	c_i	$u_i(y)$	Единица измерения	$u_i(y)^2$
FP	Калибровка пробника поля	1,7	дБ	Нормальное, $k = 2$	2	0,85	дБ	1	0,85	дБ	0,72
PM_c	Измеритель мощности	0,3	дБ	Прямоугольное	1,73	0,17	дБ	1	0,17	дБ	0,03
PA_c	Быстрые колебания мощности усилителя	0,2	дБ	Прямоугольное	1,73	0,12	дБ	1	0,12	дБ	0,01
SW_c	Точность установления уровня SW	0,6	дБ	Прямоугольное	1,73	0,35	дБ	1	0,35	дБ	0,12
					$\Sigma u_i(y)^2$						0,88
					$\sqrt{\Sigma u_i(y)^2}$						0,94
					Расширенная неопределенность (*CAL*) $U(y)$ $k = 2$						1,88 (дБ)

Таблица J.2 — Установка уровня

Обозначение	Источник неопределенности X_i	$U(x_i)$	Единица измерения	Распределение	Делитель	$u(x_i)$	Единица измерения	c_i	$u_i(y)$	Единица измерения	$u_i(y)^2$
CAL	Калибровка	1,88	дБ	Нормальное, $k = 2$	2,00	0,94	дБ	1	0,94	дБ	0,89
AL	Изменения размещения антенны и поглотителя	0,38	дБ	$k = 1$	1	0,38	дБ	1	0,38	дБ	0,14
PM_t [a)]	Измеритель мощности	0,3	дБ	Прямоугольное	1,73	0,17	дБ	1	0,17	дБ	0,03
PA_t	Быстрые колебания мощности усилителя	0,2	дБ	Прямоугольное	1,73	0,12	дБ	1	0,12	дБ	0,01
SW_t	Точность установления уровня *SW*	0,6	дБ	Прямоугольное	1,73	0,35	дБ	1	0,35	дБ	0,12
SG	Стабильность генератора сигналов	0,13	дБ	Прямоугольное	1,73	0,08	дБ	1	0,08	дБ	0,01

Окончание таблицы J.2

Обозначение	Источник неопределенности X_i	$U(x_i)$	Единица измерения	Распределение	Делитель	$u(x_i)$	Единица измерения	c_i	$u_i(y)$	Единица измерения	$u_i(y)^2$
					$\Sigma u_i(y)^2$						1,20
					$\sqrt{\Sigma u_i(y)^2}$						1,10
					Расширенная неопределенность $U(y)$ $k = 2$						2,19 (дБ)

[a] Если управление выходным уровнем генератора сигналов основано на использовании измерителя мощности, то PM_t включают в таблицу, т. к. стабильность и дрейф генератора сигналов, а также усилитель мощности должны быть учтены при рассмотрении. В настоящем примере усилитель мощности не учтен в качестве вклада в бюджет неопределенности, поскольку введен в управление выходной мощностью усилителя. Следовательно, достаточно рассмотреть вклад измерителя мощности.

J.2.4 Объяснение терминов

FP — комбинация неопределенности калибровки, нарушения балансировки пробника поля (анизотропии), частотного отклика и температурной чувствительности пробника поля. Как правило, эти сведения могут быть получены из технической документации на пробник или из сертификата калибровки.

PM_c — неопределенность измерителя мощности, включая его сенсоры, получаемая из спецификации изготовителя (учитываемая с прямоугольным распределением) или из сертификата калибровки (учитываемая с нормальным распределением). Если один и тот же усилитель мощности используется для калибровки и испытания, этот вклад может быть уменьшен до вклада повторяемости и линейности измерителя мощности. Данный подход применен в таблице J.1.

PA_c — включает в себя неопределенность, вызванную быстрыми колебаниями усилителя мощности после достижения им установившегося режима.

SW_c — неопределенность, вызванная дискретным размером шага частоты генератора и временными окнами в программном обеспечении при установке уровня в процессе калибровки.

CAL — расширенная неопределенность, связанная с процессом калибровки.

AL — неопределенность, вызываемая передвижением и изменением местоположения антенны и поглотителей. В соответствии с Рекомендациями ISO/IEC 98-3 изменения местоположения антенны и поглотителя являются вкладами типа А, т. е. их неопределенность может быть оценена статистическим анализом серии наблюдений. Хотя вклады типа А, как правило, не являются частью неопределенности измерений оборудования, в данном случае они учтены вследствие их высокой важности и связи с измерительным оборудованием.

PM_t — неопределенность измерителя мощности, включая его сенсоры, получаемая из спецификации изготовителя (учитываемая с прямоугольным распределением) или из сертификата калибровки (учитываемая с нормальным распределением). Если один и тот же усилитель мощности используется для калибровки и испытания, этот вклад может быть уменьшен до вклада повторяемости и линейности измерителя мощности. Данный подход применен в таблице J.2.

Этот вклад может быть исключен, если в процессе испытаний используют испытательную установку без управления выходной мощностью усилителя мощности (в отличие от рисунка 7 настоящего стандарта). В этом случае должны быть учтены неопределенности, связанные с генератором сигналов и усилителем мощности.

PA_t — включает неопределенность, вызванную быстрыми колебаниями усилителя мощности после достижения им установившегося режима.

SW_t — неопределенность, вызванная дискретным размером шага частоты генератора и окнами в программном обеспечении при установке уровня в процессе калибровки.

SG — неопределенность, вызванная дрейфом генератора сигналов в течение времени ожидания на частоте.

J.3 Применение

Рассчитанное значение MU (расширенная неопределенность) может быть использовано во многих задачах, например при установлении в стандарте на продукцию или при аккредитации лаборатории.

Не предполагается, что результаты этих расчетов будут использованы для корректировки испытательного уровня, применяемого для ИО в процессе испытания.

J.4 Ссылочные документы

[1] IEC TC77 document 77/349/INF, *General information on measurement uncertainty of test instrumentation for conducted and radiated r.f. immunity tests* (Общая информация о неопределенности измерений испытательного оборудования для испытаний на устойчивость к кондуктивным и излучаемым радиочастотным помехам)

[2] UKAS, M3003, Edition 2, 2007, *The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement* (Выражение неопределенности и достоверности при измерениях)
[3] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)* (Неопределенность измерений. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерений)

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование межгосударственного стандарта
IEC 60050-161	—	*, 1)
IEC 61000-4-6	MOD	ГОСТ 30804.4.6—2002[2)] «Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний»

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать русскоязычную версию IEC 60050-161:1990 с Изменением 1 (1997 г.) и перевод на русский язык Изменения 2 (1998 г.), Изменения 3 (2014 г.), Изменения 4 (2014 г.) и Изменения 5 (2015 г.) указанного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта:
- MOD — модифицированный стандарт.

1) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 50397—2011 (МЭК 60050-161:1990).
2) В Российской Федерации действует ГОСТ Р 51317.4.6—99 (МЭК 61000-4-6—96).

УДК 621.396/.397.001.4:006.354 МКС 33.100.20

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, электрическое и электронное оборудование, устойчивость к электромагнитным помехам (помехоустойчивость), радиочастотное электромагнитное поле, требования, испытательные уровни, методы испытаний, испытательное оборудование

Редактор переиздания *Е.В. Яковлева*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 24.04.2020. Подписано в печать 08.07.2020 Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 6,98. Уч.-изд. л. 6,31.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

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

gost.e-ecolog.ru