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

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ CISPR 16-1-1— 2016

ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОПОМЕХ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Часть 1-1

Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерительная аппаратура

(CISPR 16-1-1:2015, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2017

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены в ГОСТ 1.0—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2015 «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 международного стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 22 ноября 2016 г. № 93-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
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Украина	UA	Минэкономразвития Украины

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 декабря 2016 г. № 1913-ст межгосударственный стандарт ГОСТ CISPR 16-1-1—2016 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2017 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту CISPR 16-1-1:2015 «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 1-1. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерительная аппаратура» («Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus — Measuring apparatus», IDT).

Международный стандарт CISPR 16-1-1:2015 подготовлен Международным специальным комитетом по радиопомехам (CISPR) Международной электротехнической комиссии (IEC), подкомитетом А «Измерения радиопомех и статистические методы».

Настоящее четвертое издание международного стандарта CISPR 16-1-1:2015 отменяет и заменяет третье издание, опубликованное в 2010 г., Изменение 1 (2010) и Изменение 2 (2014) и представляет собой технический пересмотр.

Основным техническим изменением по отношению к предыдущему изданию является добавление нового справочного приложения о калибровке характеристик измерительных приемников.

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

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомления и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

© Стандартинформ, 2017

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

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 2
4 Измерительные приемники с квазипиковым детектором для полосы частот от 9 кГц до 1000 МГц . . . 6
4.1 Общие положения . . . 6
4.2 Входное полное сопротивление . . . 6
4.3 Точность измерения синусоидального напряжения . . . 6
4.4 Импульсная характеристика . . . 6
4.5 Избирательность . . . 10
4.6 Ограничение эффектов интермодуляции . . . 13
4.7 Ограничение шума и внутренних паразитных сигналов приемника . . . 14
4.8 Эффективность экранирования . . . 14
4.9 Возможности подключения анализатора прерывистых помех . . . 15
5 Измерительные приемники с детектором пиковых значений для полосы частот от 9 кГц до 18 ГГц . . . 15
5.1 Общие положения . . . 15
5.2 Входное полное сопротивление . . . 15
5.3 Основные характеристики . . . 15
5.4 Точность измерения синусоидального напряжения . . . 16
5.5 Импульсная характеристика . . . 16
5.6 Избирательность . . . 17
5.7 Эффекты интермодуляции, шум приемника и экранирование . . . 18
6 Измерительные приемники с детектором средних значений для полосы частот от 9 кГц до 18 ГГц . . . 18
6.1 Общие положения . . . 18
6.2 Входное полное сопротивление . . . 19
6.3 Основные характеристики . . . 19
6.4 Точность измерения синусоидального напряжения . . . 19
6.5 Импульсная характеристика . . . 19
6.6 Избирательность . . . 22
6.7 Эффекты интермодуляции, шум приемника и экранирование . . . 23
7 Измерительные приемники с детектором среднеквадратичных-средних значений для полосы частот от 9 кГц до 18 ГГц . . . 23
7.1 Общие положения . . . 23
7.2 Входное полное сопротивление . . . 23
7.3 Основные характеристики . . . 24
7.4 Точность измерения синусоидального напряжения . . . 25
7.5 Импульсная характеристика . . . 25
7.6 Избирательность . . . 27
7.7 Эффекты интермодуляции, шум приемника и экранирование . . . 27
8 Измерительные приемники с функцией измерения распределения вероятностей амплитуд (APD) для полосы частот от 1 до 18 ГГц . . . 27
9 Анализаторы помех . . . 28

9.1 Общие положения 28
9.2 Основные характеристики 28
9.3 Метод испытаний для валидации характеристик анализатора кратковременных помех. 34
Приложение A (обязательное) Определение импульсной характеристики измерительных приемников с детекторами квазипиковых и среднеквадратичных-средних значений (см. 3.6, 4.4.2, 7.3.2 и 7.5.1) 35
Приложение B (обязательное) Определение спектра генератора импульсов (см. 4.4, 5.5, 6.5, 7.5) . . 39
Приложение C (обязательное) Точные измерения выходного сигнала генератора наносекундных импульсов (см. 4.4, 5.5, 6.5, 7.5) 41
Приложение D (обязательное) Влияние характеристик измерительного приемника с квазипиковым детектором на его импульсную характеристику (см. 4.4.2) 43
Приложение E (обязательное) Импульсная характеристика измерительных приемников с детекторами пиковых и средних значений (см. 6.3.1) 44
Приложение F (обязательное) Проверка характеристик исключений из определения кратковременных помех в соответствии с 4.2.3 CISPR 14-1:2005 52
Приложение G (справочное) Обоснование требований к функции измерения распределения вероятностей амплитуд 58
Приложение H (справочное) Характеристики измерительного приемника с детектором квазипиковых значений 61
Приложение I (справочное) Пример построения приемника EMI и сканирующего анализатора спектра 62
Приложение J (обязательное) Требования к использованию внешнего предварительного усилителя с измерительным приемником 64
Приложение K (обязательное) Требования к калибровке измерительного приемника 74
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 77
Библиография 78

Введение

Серия международных стандартов CISPR 16, опубликованная под общим наименованием «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения», включает в себя следующие комплекты стандартов и технических отчетов:

CISPR 16-1 — 5 частей, включающих в себя требования к измерительным приборам;

CISPR 16-2 — 5 частей, включающих в себя методы измерения;

CISPR 16-3 — сводную публикацию, содержащую различные технические отчеты (TR) с дополнительной информацией и обоснованиями, относящимися к CISPR и радиопомехам в целом;

CISPR 16-4 — 5 частей, посвященных неопределенностям, статистике и моделированию норм.

Серия стандартов CISPR 16-1 под общим наименованием «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости» состоит из следующих частей:

- часть 1-1 — Измерительная аппаратура;
- часть 1-2 — Устройства связи для измерений кондуктивных помех;
- часть 1-3 — Дополнительное оборудование. Мощность помех;
- часть 1-4 — Антенны и испытательные площадки для измерения излучаемых радиопомех;
- часть 1-5 — Площадки для калибровки антенн и опорные испытательные площадки в полосе частот от 5 МГц до 18 ГГц;
- часть 1-6 — Калибровка антенн ЭМС.

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОПОМЕХ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Часть 1-1

Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерительная аппаратура

Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods.
Part 1-1. Radio disturbance and immunity measuring apparatus.
Measuring apparatus

Дата введения — 2017—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает характеристики и качество функционирования оборудования для измерения радиопомех в полосе частот от 9 кГц до 18 ГГц. Установлены также требования к специализированным приборам для измерений прерывистых радиопомех.

Примечание — В соответствии с Руководством IEC 107 настоящий стандарт является основополагающим стандартом ЭМС для применения техническими комитетами IEC, разрабатывающими стандарты на продукцию. Как установлено в Руководстве IEC 107, технические комитеты, разрабатывающие стандарты на продукцию, ответственны за определение применимости стандарта ЭМС. CISPR и его подкомитеты готовы к сотрудничеству с техническими комитетами, разрабатывающими стандарты на продукцию, в оценке уровней конкретных испытаний ЭМС для соответствующих видов продукции.

Требования настоящего стандарта применяют к приемникам электромагнитных помех (EMI) и анализаторам спектра. Термин «измерительный приемник» применяется в настоящем стандарте в отношении приемников электромагнитных помех и анализаторов спектра. Требования к калибровке измерительных приемников детализированы в приложении J.

Дополнительные рекомендации по использованию сканирующих приемников и анализаторов спектра приведены в приложении B CISPR 16-2-1:2014, в приложении B CISPR 16-2-2:2010 или в приложении B CISPR 16-2-3:2010.

2 Нормативные ссылки

Следующие документы полностью или частично являются ссылочными в настоящем стандарте и обязательны при его применении. Для датированных ссылок применяют только указанное издание. Для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного документа (включая все его изменения).

CISPR 11:2015 Industrial, scientific and medical equipment — Radiofrequency disturbance characteristics — Limits and methods of measurement

Промышленное, научное и медицинское оборудование. Характеристики радиочастотных помех. Нормы и методы измерения

Издание официальное

CISPR 14-1:2005, Electromagnetic compatibility — Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus — Part 1:Emission

CISPR 14-1:2005/AMD1:2008

CISPR 14-1:2005/AMD2:2011

Электромагнитная совместимость. Требования для бытовых приборов, электрических инструментов и аналогичных аппаратов. Часть 1. Электромагнитная эмиссия

Изменение 1:2008

Изменение 2:2011

CISPR 16-2-1:2014 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity — Conducted disturbance measurements

Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 2-1. Методы измерения помех и помехоустойчивости. Измерения кондуктивных помех

CISPR 16-2-2:2010 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity — Measurement of disturbance power

Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 2-1. Методы измерения помех и помехоустойчивости. Измерение мощности помех

CISPR 16-2-3:2010 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity — Radiated disturbance measurements

CISPR 16-2-3:2010/AMD1:2010

CISPR 16-2-3:2010/AMD2:2014

Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 2-3. Методы измерения помех и помехоустойчивости. Измерения излучаемых помех

Изменение 1:2010

Изменение 2:2014

CISPR TR 16-3:2010 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 3: CISPR technical reports

CISPR TR 16-3:2010/ AMD1:2012

CISPR TR 16-3:2010/ AMD1:2015

Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 3. Технические отчеты CISPR

Изменение 1:2012

Изменение 2:2015

IEC 60050-161:1990 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) — Chapter 161: Electromagnetic compatibility

IEC 60050-161:1990/AMD1:1997

IEC 60050-161:1990/AMD2:1998

IEC 60050-161:1990/AMD3:2014

IEC 60050-161:1990/AMD4:2014

IEC 60050-161:1990/AMD5:2015

Международный электротехнический словарь. Глава 161. Электромагнитная совместимость

Изменение 1:1997

Изменение 2:1998

Изменение 3:2014

Изменение 4:2014

Изменение 5:2015

3 Термины и определения

3.1 **ширина полосы пропускания B_n** (bandwidth B_n): Ширина общей кривой избирательности приемника между двумя точками с установленным затуханием относительно среднеполосного сигнала.

Примечание — n — установленное ослабление, дБ.

3.2 **область измерений CISPR** (CISPR indicating range): Область измерений, установленная производителем, определяющая максимальное и минимальное показания прибора, в пределах которых измерительный приемник соответствует требованиям международного стандарта CISPR 16-1-1.

3.3 **электрическая постоянная времени заряда T_C** (electrical charge time constan T_c): Время, необходимое для того, чтобы после подачи синусоидального напряжения постоянной амплитуды на вход каскада, предшествующего детектору, напряжение на выходе детектора достигло 63 % установившегося значения.

Примечание — Постоянную времени детектора определяют следующим образом: синусоидальный сигнал постоянной амплитуды частотой, равной центральной частоте полосы усилителя промежуточной частоты, подают на вход каскада, непосредственно предшествующего детектору. К усилителю постоянного тока подключают безинерционный прибор (например, осциллограф) и отмечают показание D, соответствующее установившемуся значению.

Для предотвращения перегрузки используемых каскадов устанавливают такой уровень входного сигнала, при котором выходной сигнал тракта остается в пределах линейного рабочего динамического диапазона. Затем синусоидальный сигнал такого же уровня с прямоугольной огибающей подают только на ограниченное время, устанавливаемое так, чтобы зарегистрированное показание измерительного прибора было 0,63 D. Длительность такого сигнала равна постоянной времени заряда детектора.

3.4 **электрическая постоянная времени разряда T_D** (electrical discharge time constant T_D): Время, необходимое для того, чтобы после прекращения подачи синусоидального напряжения постоянной амплитуды на вход устройства, непосредственно предшествующего детектору, напряжение на выходе детектора уменьшилось до 37 % его первоначального значения.

Примечание — Метод измерения аналогичен методу для измерения постоянной времени заряда детектора, но вместо сигнала, подаваемого в течение ограниченного времени, этот сигнал прерывается на ограниченное время. Время, необходимое для того, чтобы показание прибора уменьшилось до 0,37 D, является постоянной времени разряда детектора.

3.5 **площадь импульса A_{imp}** (impulse area A_{imp}): площадь импульса в единицах измерения «напряжение — время», определяемая интегралом:

$$A_{imp} = \int_{-\infty}^{+\infty} V(t)dt. \quad (1)$$

Примечания

1 Площадь импульса, иногда называемая силой импульса, выражается, как правило, в мкВс или dB (мкВс).

2 Спектральная плотность D связана с площадью импульса и выражается в мкВ/МГц или дБ (мкВ/МГц). Для прямоугольных импульсов длительностью T на частотах $f << 1/T$ применима формула D, мкВ/МГц = $\sqrt{2} \cdot 10^6 \cdot A_{imp}$, мкВс.

3.6 **импульсная ширина полосы пропускания** (impulse bandwidth): Величина, определяемая в соответствии с соотношением:

$$B_{imp} = \frac{A(t)_{max}}{2G_0 \cdot A_{imp}}, \quad (2)$$

где $A(t)_{max}$ — пиковое значение огибающей сигнала на выходе канала промежуточной частоты приемника при подаче на его вход импульса площадью A_{imp};

G_0 — коэффициент усиления каскадов, предшествующих детектору, на центральной частоте полосы пропускания.

В случае двух критически связанных резонансных трансформаторов

$$B_{imp} = 1{,}05B_6 = 1{,}31B_3, \quad (3)$$

где B_6 и B_3 — значения ширины полосы пропускания в точках минус 6 и минус 3 дБ соответственно.

Примечание — Дополнительная информация приведена в А.2.

3.7 **измерительный приемник** (measuring receiver): Прибор, такой как настраиваемый вольтметр, приемник EMI, анализатор спектра или измерительный прибор на основе быстрого преобразования Фурье (FFT), с преселекцией или без нее, соответствующий требованиям конкретных разделов CISPR 16-1-1.

Примечание — Более подробно см. в приложении А настоящего стандарта.

3.8 **механическая постоянная времени индикаторного прибора с критическим демпфированием T_M** (mechanical time constant of a critically damped indicating instrument T_M):

$$T_M = T_L/2\pi, \quad (4)$$

где T_L — период свободных колебаний прибора при полном устранении демпфирования.

Примечания

1 Для критически демпфированного прибора уравнение движения может быть выражено следующим образом:

$$T_M^2(d^2\alpha / dt^2) + 2T_M(d\alpha / dt) + \alpha = ki, \quad (5)$$

где α — отклонение стрелки индикаторного прибора;

k — константа;

i — ток через прибор.

Из уравнения (5) можно заключить, что постоянная T_M равна также длительности прямоугольного импульса тока постоянной амплитуды, который вызывает отклонение, равное 35 % отклонения, создаваемого постоянным током (с такой же амплитудой, как у прямоугольного импульса).

2 Методы измерения и настройки устанавливают с учетом:

a) периода свободных колебаний, который должен быть установлен равным $2\pi T_M$; демпфирование вводят так, чтобы выполнялось соотношение $\alpha T = 0{,}35\alpha_{max}$.

b) если период колебаний не может быть измерен, демпфирование устанавливают несколько ниже критического так, чтобы выброс не превышал 5 % и момент инерции движения был равен $\alpha T = 0{,}35\alpha_{max}$.

3.9 **коэффициент перегрузки** (overload factor): Отношение максимального уровня, при котором амплитудная характеристика цепи (или группы цепей) в установившемся режиме отличается на 1 дБ от линейной характеристики, к уровню, соответствующему отклонению индикаторного прибора на всю шкалу.

Примечание — Максимальный уровень, при котором установившийся отклик цепи (или группы цепей) не отклоняется более чем на 1дВ от идеальной линейности, определяет область линейности цепи (или группы цепей).

3.10 **симметричное напряжение** (simmetrical voltage): Напряжение радиочастотной помехи между двумя проводами в двухпроводной схеме, например, в однофазной сети питания. Иногда называется напряжением дифференциального режима. Если V_a — векторное напряжение между одним из сетевых зажимов и землей, а V_b — векторное напряжение между другим сетевым зажимом и землей, то симметричное напряжение представляет собой разность векторов $V_a - V_b$.

3.11 **взвешивание (например, импульсной помехи)** [weighting (of e.g. impulsive disturbance)]: Преобразование импульсного напряжения (зависящее от частоты повторения импульсов, PRF), полученного при пиковом детектировании (в большинстве случаев — уменьшение), в показание, соответствующее эффекту влияния помехи на радиоприем.

Примечания

1 Для аналогового приемника психофизическое ощущение влияния помехи представляет собой субъективную характеристику (акустическую или визуальную, обычно число ошибок распознавания прослушиваемого текста).

2 Для цифрового приемника эффективность влияния помех представляет собой объективную величину, которая может быть определена как критическое значение коэффициента ошибочно принятых битов (BER) и вероятности ошибки на один бит (BEP), при которых качественная корректировка ошибок еще может осуществляться, или другой объективный и воспроизводимый параметр.

3.11.1 **взвешенное измерение помех** (weighted disturbance measurement): Измерение помех с использованием взвешивающего детектора.

3.11.2 **характеристика взвешивания** (weighting characteristic): Пиковое значение уровня напряжения в зависимости от частоты повторения импульсов при постоянном воздействии на конкретную систему радиосвязи, т. е. взвешивание помехи осуществляется самой системой радиосвязи.

3.11.3 **взвешивающий детектор** (weighting detector): Детектор, обеспечивающий согласованную функцию взвешивания.

3.11.4 **коэффициент взвешивания** (weighting factor): Значение функции взвешивания, соответствующее опорному значению частоты повторения импульсов или пиковому значению.

Примечание — Коэффициент взвешивания выражается в децибелах.

3.11.5 **функция взвешивания, кривая взвешивания** (weighting function, weighting curve): Соотношение между пиковым уровнем входного напряжения и частотой повторения импульсов при постоянном уровне показаний измерительного приемника с взвешивающим детектором, т. е. кривая отклика измерительного приемника на повторяющиеся импульсы.

3.12 **время измерения T_m** (measurement time T_m): Эффективное, когерентное время, необходимое для получения результата измерений на одной частоте.

Для различных детекторов данное время представляет собой:

- для пикового детектора — эффективное время, необходимое для получения максимального значения огибающей сигнала;
- для квазипикового детектора — эффективное время, необходимое для получения максимального значения взвешенной огибающей сигнала;
- для детектора средних значений — эффективное время, необходимое для усреднения огибающей сигнала;
- для среднеквадратичного детектора — эффективное время, необходимое для получения среднеквадратичного значения огибающей сигнала.

3.13 **калибровка** (calibration): Операция, которая при определенных условиях, в качестве первого шага устанавливает зависимость между значением величины с учетом неопределенностей ее измерения, установленных измерительными стандартами, и соответствующим показанием и в качестве второго шага использует эту информацию для того, чтобы установить соотношение для получения результата измерения по показанию.

Примечания

1 Результаты калибровки могут быть представлены заявлением о калибровке, функцией калибровки, калибровочной диаграммой, калибровочной кривой или калибровочной таблицей. В некоторых случаях калибровка может включать в себя аддитивную или мультипликативную коррекцию показаний с соответствующей неопределенностью измерения.

2 Калибровка не должна быть нарушена при регулировке измерительной системы, часто неправильно называемой «самокалибровкой», и при проверке калибровки.

3 Часто под калибровкой понимают только первый шаг, указанный в определении, приведенном выше.

[ISO/IEC Guide 99:2007, 2.39] [17]

3.14 **проверка** (verification): Положение, принимаемое в качестве объективного доказательства того, что данный образец соответствует установленным требованиям.

Пример — Проверка того, являются ли функции измерительного прибора или вспомогательного оборудования, такого как поглощающее устройство общего несимметричного режима (CMAD), соответствующими установленным требованиям, например, приведенным в ведомости данным.

[ISO/IEC Guide 99:2007, 2.44 (Изменено — дополнен пример)] [17]

3.15 **регулировка (измерительной системы)** [adjustment (of a measuring system)]: Совокупность операций, проводимых с измерительной системой, обеспечивающих предписанные показания, соответствующие установленным значениям измеряемой величины.

Примечания

1 Типы регулировки измерительной системы включают в себя регулировку нуля измерительной системы, регулировку установившегося смещения, регулировку размаха (иногда называемую регулировкой усиления).

2 Регулировка измерительной системы не должна нарушать калибровку, предшествующую регулировке.

3 После регулировки измерительной системы обычно необходима повторная калибровка системы.

[ISO/IEC Guide 99:2007, 3.11] [17]

3.16 **корректировка** (correction): Компенсация установившегося систематического влияния.

Примечания

1 См. Руководство ISO/IEC 98-3:2008, 3.2.3 [16] для объяснения систематического влияния.

2 Компенсация может принимать различные формы, такие как добавление к значению или коэффициент, или может быть введена в виде таблицы.

3.17 (**метрологическая**) **прослеживаемость** [(metrological) traceability]: Свойство результата измерения, позволяющее связать результат измерения с опорным значением с учетом цепи документированных ненарушенных калибровок, каждая из которых создает вклад в неопределенность измерений.

[ISO/IEC Guide 99:2007, 2.41] [17]

4 Измерительные приемники с квазипиковым детектором для полосы частот от 9 кГц до 1000 МГц

4.1 Общие положения

Технические требования к измерительному приемнику зависят от полосы частот, в которой он должен функционировать.

Технические требования установлены для следующих полос частот измерительного приемника: от 9 до 150 кГц (полоса частот A); от 0,15 до 30 МГц (полоса частот B); от 30 до 300 МГц (полоса частот C); от 300 до 1000 МГц (полоса частот D). Основные характеристики измерительных приборов с квазипиковым детектором приведены в приложении H.

Анализаторы спектра и FFT-измерительные приборы, соответствующие требованиям настоящего раздела, допускается использовать при измерениях в целях оценки соответствия. При измерении электромагнитной эмиссии FFT-измерительные приборы должны производить выборку и определять численные значения сигнала непрерывно в течение времени измерения.

4.2 Входное полное сопротивление

Входная цепь измерительного приемника должна быть несимметричной. Для уставок приемника в пределах области измерений CISPR номинальное значение входного полного сопротивления должно быть 50 Ом с КСВ по напряжению не более 2 при ослаблении входного аттенюатора 0 дБ и не более 1,2 при ослаблении входного аттенюатора 10 дБ и более.

Симметричное входное полное сопротивление в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц: для проведения измерений симметричных сигналов используется симметрирующий трансформатор. Предпочтительное входное полное сопротивление для полосы частот от 9 до 150 кГц равно 600 Ом. Симметричное входное полное сопротивление может обеспечиваться соответствующим симметричным эквивалентом сети, необходимым для связи с приемником, либо может быть дополнительно инкорпорировано в измерительный приемник.

4.3 Точность измерения синусоидального напряжения

Погрешность измерения синусоидального напряжения должна быть менее ± 2 дБ, если приемник измеряет синусоидальный сигнал источника с внутренним резистивным сопротивлением 50 Ом.

4.4 Импульсная характеристика

4.4.1 Амплитудное соотношение (абсолютная калибровка)

В соответствии с таблицей 1 показания измерительного приемника при подаче на его вход импульсов площадью *a*, мкВ/с, ЭДС, при сопротивлении источника 50 Ом, имеющих однородный спектр до частоты по меньшей мере *b*, МГц, частотой повторения *c*, Гц, должны быть на всех частотах настройки такими же, как и при подаче на его вход немодулированного синусоидального сигнала на частоте настройки со среднеквадратичным значением ЭДС 2 мВ [66 дБ (мкВ)].

Выходное сопротивление генераторов импульсов и синусоидальных сигналов должно быть одинаковым. Допускаемое отклонение уровня напряжения синусоидального сигнала — не более ± 1,5 дБ.

Таблица 1 — Характеристики испытательных импульсов для измерительного приемника с квазипиковым детектором

Полоса частот	*a*, мкВс	*b*, МГц	*c*, Гц
9—150 кГц	13,5	0,15	25
0,15—30 МГц	0,316	30	100
30—300 МГц	0,044	300	100
300—1000 МГц	0,044	1000	100

Примечание — Методы определения выходных характеристик импульсного генератора, применяемого при испытаниях на соответствие требованиям настоящего подраздела, приведены в приложениях B и C.

4.4.2 Зависимость от частоты повторения (относительная калибровка)

Импульсная характеристика измерительного приемника при воздействии повторяющихся импульсов должна быть такой, чтобы при постоянном показании приемника, равном, например, 20 дБ (мкВ), зависимости между амплитудой и частотой повторения импульсов соответствовали приведенным на рисунках 1—4.

Альтернативный способ оценки зависимости импульсной характеристики измерительного приемника от частоты повторения импульсов заключается в подаче на вход повторяющихся импульсов при постоянной установке амплитуды импульсного генератора [например, 50 дБ (мкВ)] и при частоте повторения 25 Гц (полоса частот A) и 100 Гц (полосы частот B, C и D). При этом зависимости между показаниями приемника и частотой повторения импульсов должны соответствовать приведенным на рисунках 1—4 (при условиях противоположного знака).

Все измерения проводят при достаточном отношении «сигнал — шум». Рекомендуется использование аттенюатора 10 дБ на выходе импульсного генератора.

Рисунок 1 — Кривая импульсной характеристики
(полоса частот A)

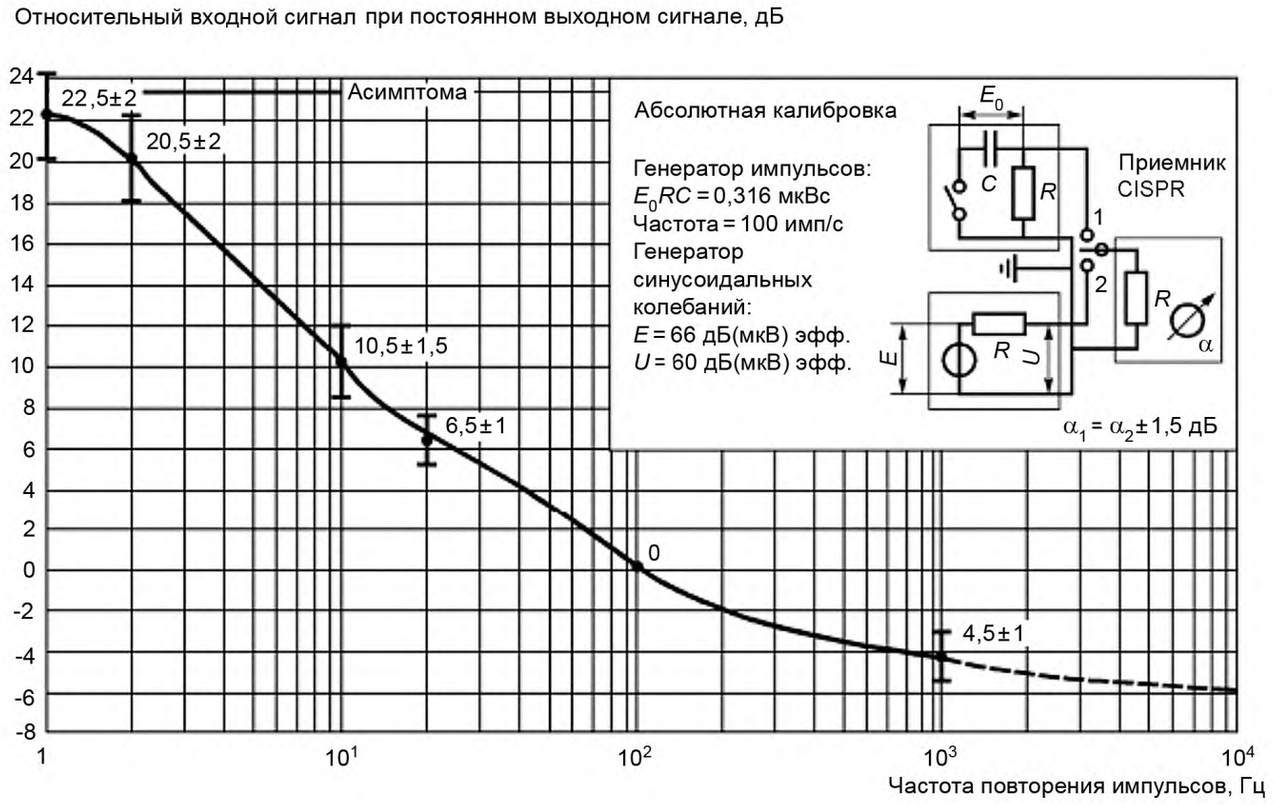


Рисунок 2 — Кривая импульсной характеристики (полоса частот B)

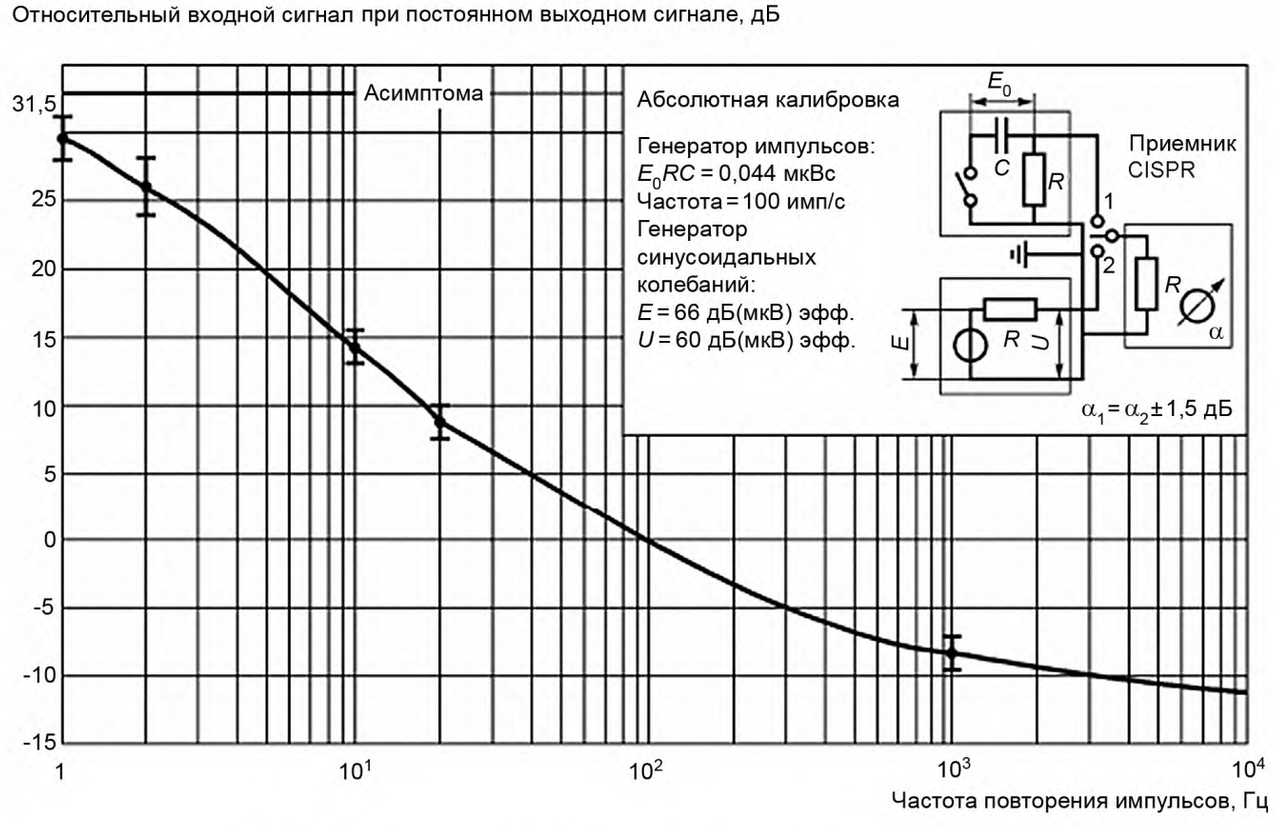
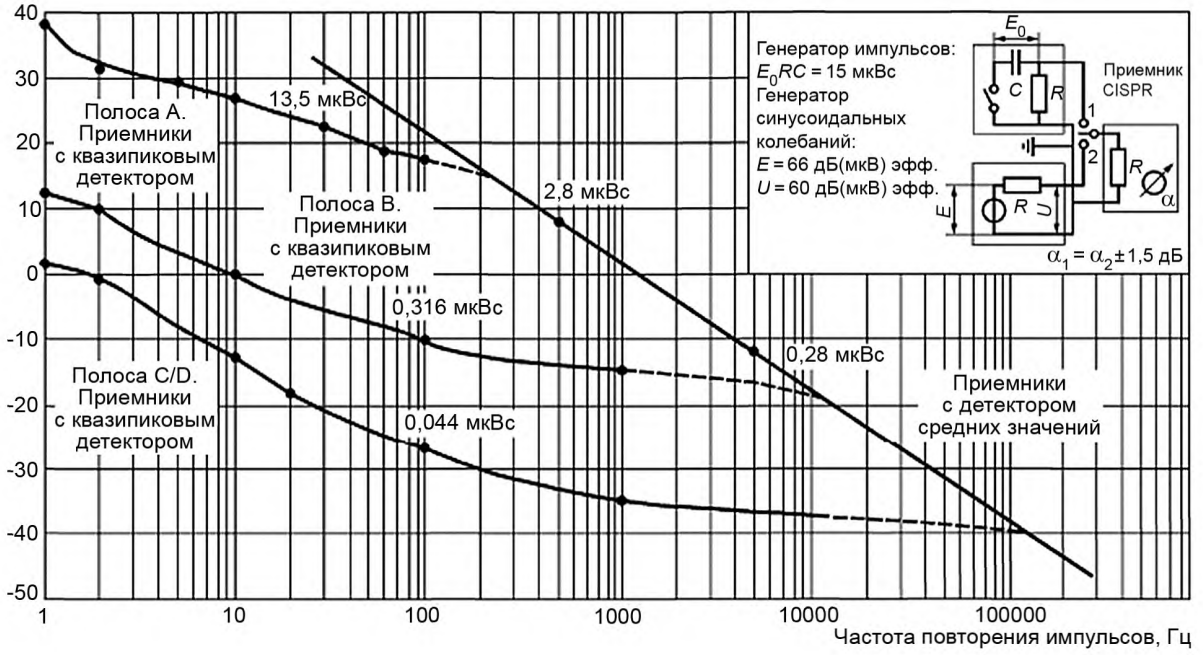


Рисунок 3 — Кривая импульсной характеристики (полосы частот C и D)



Примечание — IS — обозначение, используемое для A_{imp} в предыдущих изданиях.

Рисунок 4 — Теоретические кривые импульсной характеристики приемников с квазипиковым детектором и детектором средних значений

Для конкретного измерительного приемника кривая импульсной характеристики должна лежать между предельными значениями, определенными кривыми на соответствующих рисунках и приведенными в цифровой форме в таблице 2.

Для анализаторов спектра без преселекции требования для импульсов с частотой повторения менее 20 Гц, приведенные в таблице 2, неприменимы. Применение подобных устройств для испытаний в целях оценки соответствия является условным. Если для испытаний применяется анализатор спектра без преселекции, пользователь должен проверить и зафиксировать, что испытуемое оборудование не создает широкополосные импульсные сигналы с частотами повторения 20 Гц или менее. Применимость анализатора спектра для испытаний должна быть определена в процессе выполнения процедуры, приведенной в приложении B CISPR 16-2-1:2014, в приложении B CISPR 16-2-2:2010 или в приложении B CISPR 16-2-3:2010.

Из-за перегрузки на входе измерительного приемника импульсная характеристика ограничивается на частотах свыше 300 МГц. Значения в таблице 2, отмеченные знаком сноски (*), несущественны и являются рекомендуемыми.

Таблица 2 — Импульсная характеристика измерительных приемников с квазипиковым детектором

Частота повторения, Гц	Значения импульсной характеристики и ее допустимые отклонения, дБ, в полосе частот			
	Полоса A (9—150 кГц)	Полоса B (0,15—30 МГц)	Полоса C (30—300 МГц)	Полоса D (300—1000 МГц)
1000	Примечание 4	–4,5 ± 1,0	–8,0 ± 1,0	–8,0 ± 1,0
100	–4,0 ± 1,0	0 (опорное значение)	0 (опорное значение)	0 (опорное значение)

Окончание таблицы 2

Частота повторения, Гц	Значения импульсной характеристики и ее допустимые отклонения, дБ, в полосе частот			
	Полоса A (9—150 кГц)	Полоса B (0,15—30 МГц)	Полоса C (30—300 МГц)	Полоса D (300—1000 МГц)
60	–3,0 ± 1,0	—	—	—
25	0 (опорное значение)	—	—	—
20	—	+6,5 ± 1,0	+9,0 ± 1,0	+9,0 ± 1,0
10	+4,0 ± 1,0	+10,0 ± 1,5	+14,0 ± 1,5	+14,0 ± 1,5
5	+7,5 ± 1,5	—	—	—
2	+13,0 ± 2,0	+20,5 ± 2,0	+26,0 ± 2,0	(+26,0 ± 2,0)*
1	+17,0 ± 2,0	+22,5 ± 2,0	+28,5 ± 2,0	(+28,5 ± 2,0)*
Одиночный импульс	+19,0 ± 2,0	+23,5 ± 2,0	+31,5 ± 2,0	(+31,5 ± 2,0)*

* Несущественные значения, являющиеся рекомендуемыми.

Примечания

1 Влияние характеристик приемника на его импульсную характеристику рассмотрено в приложении D.

2 Соотношения между импульсными характеристиками приемников с квазипиковым детектором и другими типами детекторов приведены в 5.5, 6.5 и 7.5.

3 Теоретические кривые импульсной характеристики измерительного приемника с квазипиковым детектором и детектором средних значений (совмещенные по абсолютной шкале) представлены на рисунке 4. Ордината на рисунке 4 показывает значения площадей импульса при разомкнутой цепи, дБ (мкВс), соответствующих напряжению синусоидального сигнала *E* при разомкнутой цепи 66 дБ (мкВ) (среднеквадратичное значение). Тогда показание *U* измерительного приемника, вход которого согласован с генератором синусоидального напряжения, составит 60 дБ (мкВ). Если ширина полосы измерения менее частоты повторения импульсов, то кривые на рисунке 4 соответствуют случаю, когда измерительный приемник настроен на одну дискретную линию спектра.

4 В полосе частот от 9 до 150 кГц не представляется возможным определить импульсную характеристику при частоте повторения импульсов свыше 100 Гц из-за частичного наложения импульсов в усилителе промежуточной частоты.

5 Методы определения кривых импульсной характеристики при воздействии повторяющихся импульсов приведены в приложении A.

4.5 Избирательность

4.5.1 Характеристика избирательности (полоса пропускания)

Значения характеристики избирательности измерительного приемника должны находиться в пределах, указанных для каждой полосы частот на рисунках 5, 6 или 7 соответственно.

Избирательность характеризуется зависимостью от частоты амплитуды входного синусоидального сигнала, при которой поддерживается постоянное показание измерительного приемника, полученное на частоте настройки приемника.

Примечание — При проведении измерений для оборудования, которое требует более высокой избирательности в полосе частот от 130 до 150 кГц (например, для оборудования передачи сигналов по электрическим сетям в соответствии с определением по EN 50065-1), перед измерительным приемником допускается дополнительно включать фильтр верхних частот для обеспечения общей избирательности измерительного приемника и фильтра верхних частот в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3 — Общая избирательность измерительного приемника CISPR и фильтра верхних частот

Частота, кГц	Относительное затухание, дБ
150	≤ 1
146	≤ 6

Окончание таблицы 3

Частота, кГц	Относительное затухание, дБ
145	≥ 6
140	≥ 34
130	≥ 81

Измерительный приемник в комбинации с фильтром верхних частот должен соответствовать требованиям настоящего стандарта.

4.5.2 Коэффициент ослабления на промежуточной частоте

Отношение напряжений входного синусоидального сигнала на промежуточной частоте и на частоте настройки, при которых наблюдаются одинаковые показания измерительного приемника, должно быть не менее 40 дБ. Если в приемнике используется более одной промежуточной частоты, данное требование должно выполняться на каждой промежуточной частоте.

4.5.3 Коэффициент ослабления на частоте зеркального канала

Отношение напряжений входного синусоидального сигнала на частоте зеркального канала и на частоте настройки, при которых наблюдаются одинаковые показания измерительного приемника, должно быть не менее 40 дБ. Если в приемнике используется более чем одна промежуточная частота, то это требование должно выполняться на частотах зеркального канала, соответствующих каждой промежуточной частоте.

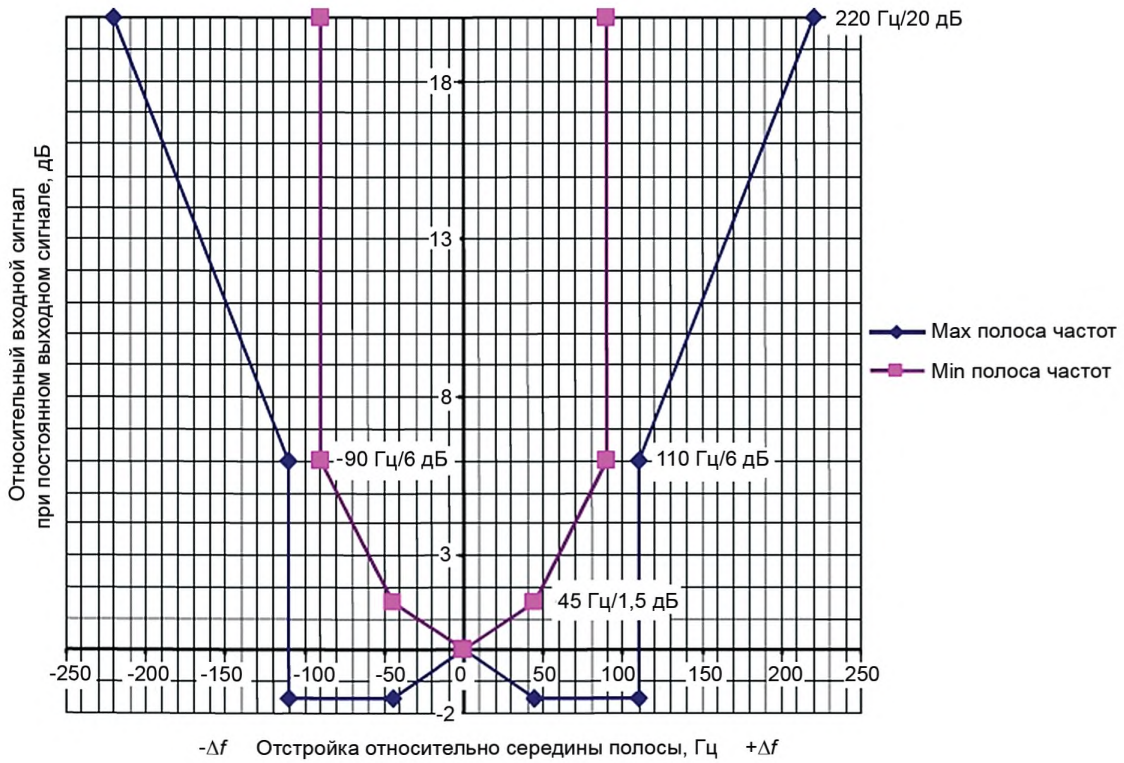


Рисунок 5 — Предельные значения характеристики избирательности — полоса пропускания (см. 4.5.1, 5.6, 6.6 и 7.6) (полоса частот А)

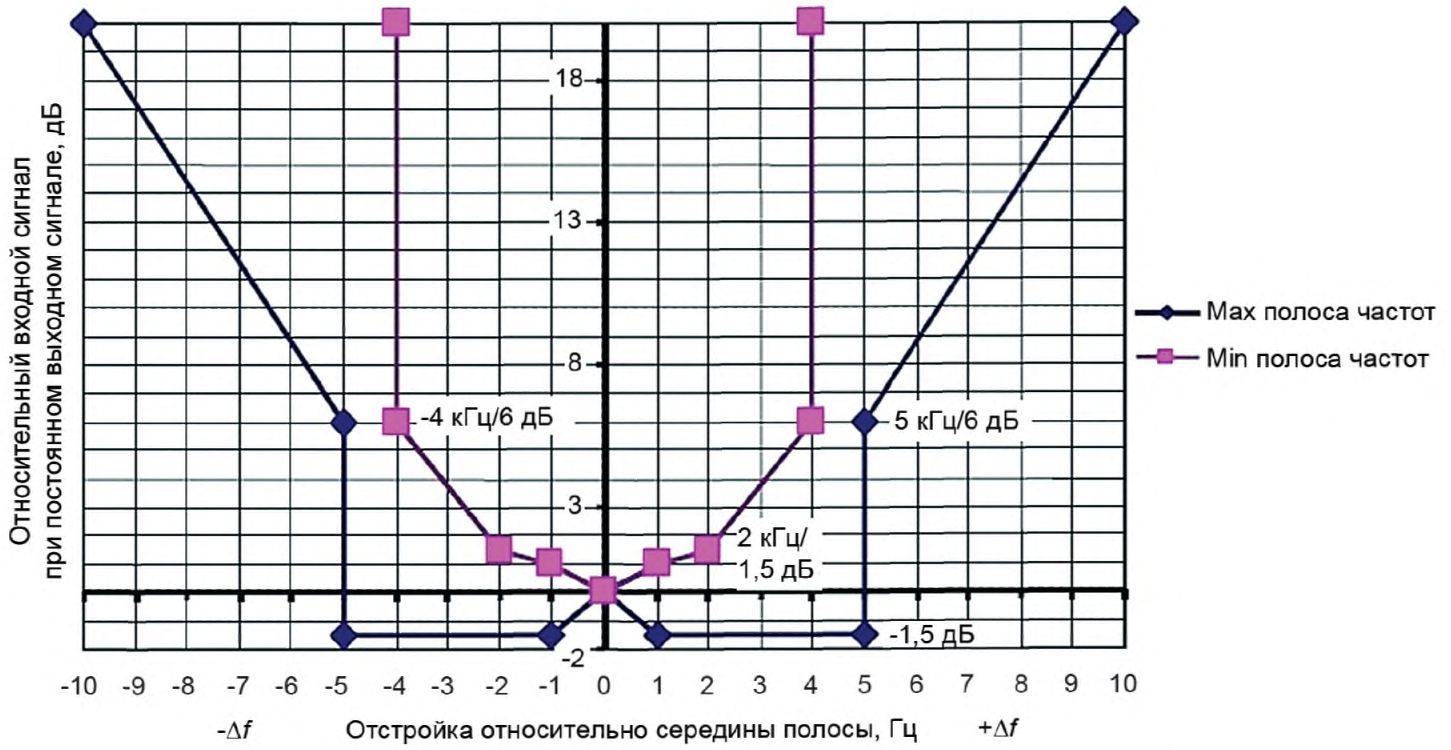


Рисунок 6 — Предельные значения характеристики избирательности — полоса пропускания (см. 4.5.1, 5.6, 6.6 и 7.6) (полоса частот B)

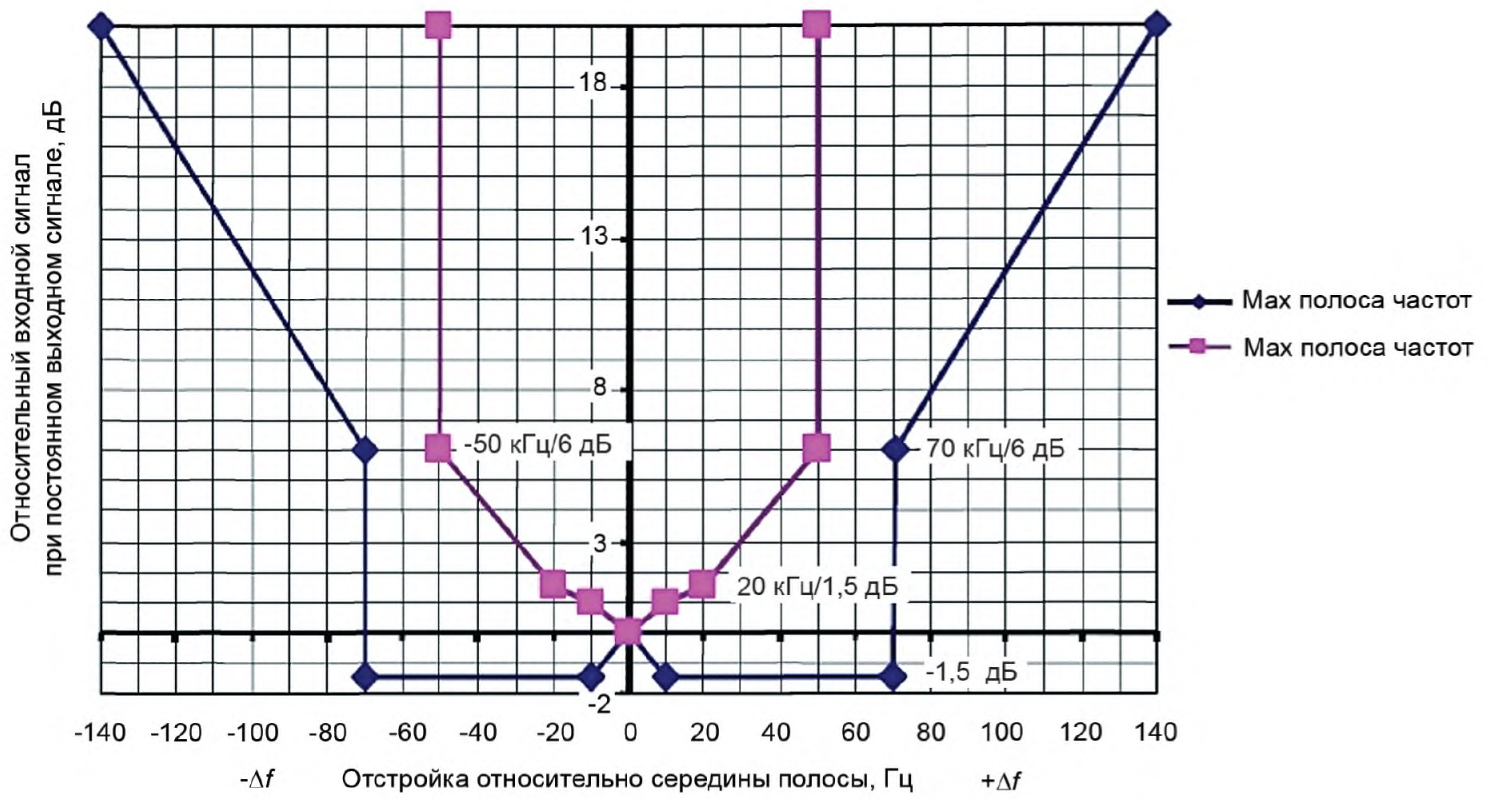


Рисунок 7 — Предельные значения характеристики избирательности — полоса пропускания (см. 4.5.1, 5.6, 6.6 и 7.6) (полосы частот C и D)

4.5.4 Другие побочные каналы приема

Отношение напряжений входного синусоидального сигнала на частотах, отличных от указанных в 4.5.2 и 4.5.3, к напряжению на частоте настройки, при котором получается то же показание измерительного приемника, должно быть не менее 40 дБ. Частоты возможных побочных каналов приема определяют с использованием соотношений

$$(1/m)(nf_L \pm f_i) \text{ и } (1/k)(f_0),$$

где m, n, k — целые числа;

f_L — частота местного гетеродина;

f_i — промежуточная частота;

f_0 — частота настройки.

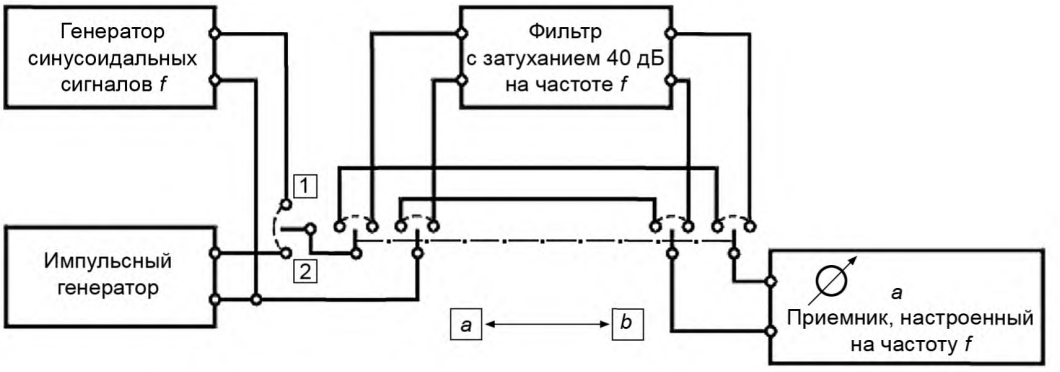
Примечание — Если в измерительном приемнике используется более одной промежуточной частоты, частоты f_L и f_i могут относиться к каждой используемой промежуточной частоте и частоте местного гетеродина. Кроме того, дополнительные каналы приема могут возникать, когда входной сигнал не подается на приемник, например, если гармоники местных гетеродинов отличаются по частоте на одну из промежуточных частот. В этом случае требования данного подраздела не применяют. Влияние таких побочных каналов приема рассматривается в 4.7. Примерами источников паразитных сигналов являются местные гетеродины (или их гармоники), внутренние часы, компьютерные платы и продукты комбинации их сигналов с входными сигналами приемника.

4.6 Ограничение эффектов интермодуляции

Влияние эффектов интермодуляции на показания измерительного приемника должно быть сведено к минимуму. Испытания приемника на подверженность интермодуляционным искажениям проводят следующим образом. Собирают схему измерений в соответствии с рисунком 8. Импульсный генератор должен создавать импульсы с существенно равномерной спектральной плотностью до частоты f_3 (см. таблицу 4), выше которой спектральная плотность должна снижаться так, чтобы снижение на частоте f_4 было не менее 10 дБ. Полосно-заграждающий фильтр должен иметь затухание на частоте испытания не менее 40 дБ. Ширина полосы фильтра B_6 (по уровню 6 дБ относительно максимального затухания) должна находиться между частотами f_1 и f_2 по таблице 4.

Ко входу измерительного приемника подключают генератор синусоидальных сигналов и настраивают так, чтобы обеспечить устойчивую индикацию. Затем генератор синусоидальных сигналов заменяют генератором импульсов, в котором устанавливают частоту повторения импульсов 100 Гц для полосы частот A, 1000 Гц — для других полос частот и добиваются того же самого показания.

При включении фильтра в цепь между импульсным генератором и измерительным приемником, как указано выше, показания измерительного приемника должны уменьшиться не менее чем на 36 дБ, и не менее чем на 20 дБ для анализатора спектра без фильтра преселекции.



Примечание — В соответствии с 4.6 показание измерительного приемника: $a_{1a} = a_{2a}$; $a_{1b} = a_{1a} - 40$ дБ; $a_{2b} = a_{2a} - 36$ дБ.

Рисунок 8 — Схема испытаний интермодуляционных эффектов

Таблица 4 — Значения частот при испытании измерительного приемника с квазипиковым детектором на интермодуляционные искажения

Полоса частот	f_1, кГц	f_2, кГц	f_3, МГц	f_4, МГц
9—150 кГц (полоса частот A)	0,4	4	0,15	0,3
0,15—30 МГц (полоса частот B)	20	200	30	60
30—300 МГц (полоса частот C)	500	2000	300	600
300—1000 МГц (полоса частот D)	500	6000	1000	2000

4.7 Ограничение шума и внутренних паразитных сигналов приемника

4.7.1 Случайный шум

Дополнительная ошибка измерения, обусловленная собственными шумами измерительного приемника, должна быть не более 1 дБ.

Примечание — Уровень входного сигнала, при котором ошибка измерения, вносимая собственными шумами, составляет 1 дБ, определяют следующим образом. Ко входу измерительного приемника подключают генератор синусоидальных сигналов, с помощью которого подают сигнал напряжением S, вызывающий уровень показаний приемника намного больше, чем уровень собственных шумов приемника N (например, на 40 дБ). Затем уровень входного сигнала снижают до значения S_1, при котором уровень показаний приемника ($S_1 + N$) отклоняется от линейной характеристики на 1 дБ.

4.7.2 Синусоидальные сигналы

Наличие побочных каналов приема, указанных в примечании к 4.5.4, не должно приводить к ошибке измерения более 1 дБ для любого входного сигнала, подаваемого на измерительный приемник. Данное требование должно считаться выполненным, если измерительный приемник при испытании соответствует 4.7.1.

4.8 Эффективность экранирования

4.8.1 Общие положения

Под эффективностью экранирования измерительного приемника понимается мера его способности работать в электромагнитном поле без ухудшения качества функционирования. Требование применяется к измерительным приемникам, функционирующим в области измерений CISPR, как установлено производителем (см. 3.2).

Экранирование приемника должно быть таким, чтобы при его размещении в немодулированном электромагнитном поле напряженностью 3 В/м на частоте от 9 кГц до 1000 МГц ошибка измерения не превышала 1 дБ при минимальном и максимальном значениях области измерений CISPR, указанных производителем. В случае если требование не выполняется, производитель измерительного приемника должен указать значения соответствующих частот и значение напряженности поля, при которых ошибка измерения превышает 1 дБ.

Испытание проводят следующим образом. Приемник помещают в экранированную камеру, в которой имеется источник испытательного поля. Генератор сигналов располагают вне камеры и подают от него сигнал на вход приемника через проходящий сквозь стену камеры двухметровый экранированный кабель (например, полужесткий). К остальным коаксиальным разъемам приемника подключают нагрузки с сопротивлением, равным их полному волновому сопротивлению.

Отключают все соединительные провода, не требующиеся для нормального использования измерительного приемника в его минимальной конфигурации (отключаются такие аксессуары, как, например, головные телефоны). Провода, которые остались подсоединенными, должны иметь такую же длину и быть расположены так же, как при типовом использовании.

Напряженность электромагнитного поля вблизи измерительного приемника контролируют измерителем напряженности поля.

Показания приемника при наличии внешнего электромагнитного поля не должны отличаться более чем на 1 дБ от показаний при отсутствии поля.

4.8.2 Ограничение радиочастотной электромагнитной эмиссии от измерительного приемника

4.8.2.1 Кондуктивная электромагнитная эмиссия

Напряжение радиопомех для любого подключенного ввода внешней линии (не только порта питания) не должно превышать норм для оборудования класса В по CISPR 11. Измерение напряжения радиопомех, однако, не требуется проводить на внутренних проводниках экранированных соединений с экранированным оборудованием. Мощность радиопомех от гетеродина на входе измерительного приемника, нагруженного на характеристическое полное сопротивление, не должна превышать 34 дБ (пВт), что эквивалентно 51 дБ (мкВ) при нагрузке 50 Ом.

4.8.2.2 Излучаемая электромагнитная эмиссия

Напряженность поля радиопомех, излучаемого измерительным приемником, не должна превышать норм для оборудования класса В по CISPR 11 для полосы частот 9 кГц — 1000 МГц. Указанные нормы применимы также для выделенных полос частот (промышленного, медицинского и научного оборудования), указанных в таблице 1 CISPR 11. В полосе частот от 1 до 18 ГГц должна использоваться норма 45 дБ (пВт) на основе измерения эффективной излучаемой мощности радиопомех.

Перед проведением измерений излучаемой и кондуктивной электромагнитной эмиссии необходимо убедиться, что помехи от испытательного оборудования (например, от управляющего компьютера) не влияют на результаты измерений.

4.9 Возможности подключения анализатора прерывистых помех

Измерительный приемник электромагнитных помех для всех диапазонов должен иметь выход промежуточной частоты, если прибор предназначен для использования при измерении прерывистых помех. Нагрузка этого выхода не должна оказывать влияния на показания прибора во время проведения измерений.

5 Измерительные приемники с детектором пиковых значений для полосы частот от 9 кГц до 18 ГГц

5.1 Общие положения

В настоящем разделе установлены требования к измерительным приемникам с детектором пиковых значений, используемым для измерений импульсных или импульсно-модулированных помех.

Анализаторы спектра и FFT-измерительные приборы, соответствующие требованиям настоящего раздела, допускается использовать при измерениях в целях оценки соответствия. При измерении электромагнитной эмиссии FFT-измерительные приборы должны производить выборку и определять численные значения сигнала непрерывно в течение времени измерения.

5.2 Входное полное сопротивление

Входная цепь измерительного приемника должна быть несимметричной. Для уставок приемника в пределах области измерений CISPR номинальное значение входного полного сопротивления должно быть 50 Ом с КСВ по напряжению, не превышающим значений, установленных в таблице 5.

Таблица 5 — Требования к коэффициенту стоячей волны по напряжению для входного полного сопротивления приемника

Диапазон частот	Радиочастотное затухание, дБ	КСВ по напряжению
От 9 кГц до 1 ГГц	0	От 2,0 до 1
От 9 кГц до 1 ГГц	≥ 10	От 1,2 до 1
От 1 до 18 ГГц	0	От 3,0 до 1
От 1 до 18 ГГц	≥ 10	От 2,0 до 1

Симметричное входное полное сопротивление в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц: для проведения измерений симметричных сигналов (без заземления) используется симметрирующий трансформатор. Предпочтительное входное полное сопротивление для полосы частот от 9 до 150 кГц равно 600 Ом. Симметричное входное полное сопротивление может обеспечиваться соответствующим симметричным эквивалентом сети, необходимым для связи с приемником, либо может быть дополнительно инкорпорировано в измерительный приемник.

5.3 Основные характеристики

5.3.1 Ширина полосы пропускания

Для всех типов широкополосных помех при указании уровня помех должно быть установлено фактическое значение ширины полосы пропускания, которое должно находиться в пределах значений по таблице 6.

Таблица 6 — Требования к ширине полосы пропускания измерительного приемника с детектором пиковых значений

Полоса частот	Ширина полосы B_6	Опорное значение ширины полосы
От 9 до 150 кГц (полоса частот A)	(100—300) Гц[a]	200 Гц (B_6)
От 0,15 до 30 МГц (полоса частот B)	(8—10) кГц[a]	9 кГц (B_6)

Окончание таблицы 6

Полоса частот	Ширина полосы B_6	Опорное значение ширины полосы
От 30 до 1000 МГц (полосы частот C и D)	(100—500) кГц[a]	120 кГц (B_6)
От 1 до 18 ГГц (полоса частот E)	(0,3—2,0) МГц[a]	1 МГц[b] (B_{imp})

[a] Поскольку показание измерительного приемника с пиковым детектором при измерении неперекрывающихся импульсов пропорционально его импульсной ширине полосы пропускания, то вместе с результатом измерения должна указываться фактическая ширина полосы пропускания либо уровень помех должен указываться в значении «при ширине полосы пропускания 1 МГц», полученном путем деления результата измерения на импульсную ширину полосы пропускания в мегагерцах (см. 3.6). Для других типов широкополосных помех эта процедура может вносить ошибки в результаты. Поэтому в спорных случаях преимущество отдается данным измерений, полученным при опорной ширине полосы пропускания.

[b] Выбранная ширина полосы пропускания определяется как импульсная ширина полосы пропускания измерительного приемника с допустимыми отклонениями ± 10 %.

5.3.2 Отношение постоянных времени заряда и разряда

Для того чтобы показания прибора находились в пределах 10 % реального пикового значения при частоте повторения 1 Гц, отношение постоянной времени разряда к постоянной времени заряда должно быть равным или превышать:

a) $1,89 \times 10^4$ в полосе частот от 9 до 150 кГц;

b) $1,25 \times 10^6$ в полосе частот от 150 кГц до 30 МГц;

c) $1,67 \times 10^7$ в полосе частот от 30 до 1000 МГц;

d) $1,34 \times 10^8$ в полосе частот от 1 до 18 ГГц.

Если измерительный приемник имеет возможность удержания пикового значения, то время удержания должно быть регулируемым в пределах от 30 мс до 3 с.

Примечание — Для приемников, которые используют удержание пикового значения (с принудительным разрядом после времени удержания) или цифровые методы обнаружения пика, требование к соотношению постоянных времени заряда/разряда не устанавливается. Функция максимального удержания данных на дисплее может быть использована для сигналов с амплитудами, изменяющимися во времени.

Если для измерений пиковых значений используется анализатор спектра, то ширина полосы пропускания по видеосигналу (B_{video}) должна быть установлена равной или большей полосе разрешения (B_{resol}). При измерениях пиковых значений результат считывается с дисплея анализатора спектра с детектором, работающим в линейном или логарифмическом режиме.

5.3.3 Коэффициент перегрузки

Для измерительных приемников с детектором пиковых значений коэффициент перегрузки не должны быть столь же высоким, как для других типов измерительных приемников. Для большинства детекторов прямого считывания коэффициент перегрузки должен быть немного больше единицы. Коэффициент перегрузки должен соответствовать используемым постоянным времени (см. 5.3.2).

5.4 Точность измерения синусоидального напряжения

Погрешность измерения синусоидального напряжения должна быть не более ± 2 дБ (не более ± 2,5 дБ для частот выше 1 ГГц), если приемник измеряет синусоидальный сигнал источника с внутренним резистивным сопротивлением 50 Ом.

5.5 Импульсная характеристика

На частотах до 1000 МГц показание измерительного приемника при подаче на его вход импульсов площадью $1,4/B_{imp}$, мВс (где B_{imp} измеряется в герцах), ЭДС, при сопротивлении источника 50 Ом, должно быть таким же, как при подаче на его вход немодулированного синусоидального сигнала на частоте настройки со среднеквадратичным значением ЭДС 2 мВ [66 дБ (мкВ)].

Выходное сопротивление генераторов импульсов и синусоидальных сигналов должно быть одинаковым. Импульсы должны иметь однородный спектр в соответствии с таблицей 2. Допускаемое отклонение уровня напряжения синусоидального сигнала — не более ± 1,5 дБ. То же требование распространяется на все частоты повторения импульсов, при которых не возникает перекрытие импульсов на выходе усилителя промежуточной частоты.

Примечания

1 Приложения B и C описывают методы определения выходных характеристик генераторов импульсов, используемых при испытаниях в соответствии с требованиями настоящего подраздела.

2 При частоте повторения 25 Гц для полосы частот A и 100 Гц для других полос частот соотношения между показаниями измерительных приемников с детекторами пиковых и квазипиковых значений и предпочтительными значениями ширины полосы пропускания приведены в таблице 7.

Таблица 7 — Относительная импульсная характеристика измерительных приемников с детекторами пиковых и квазипиковых значений при одинаковой ширине полосы пропускания (полоса частот от 9 кГц до 1000 МГц)

Частота	A_{imp}, мВс	B_{imp}, Гц	Отношение пиковое/квазипиковое значение, дБ, для частоты повторения импульсов	
			25 Гц	100 Гц
Полоса частот A	$6{,}67 \cdot 10^{-3}$	$0{,}21 \cdot 10^{3}$	6,1	—
Полоса частот B	$0{,}148 \cdot 10^{-3}$	$9{,}45 \cdot 10^{3}$	—	6,6
Полосы частот C и D	$0{,}011 \cdot 10^{-3}$	$126{,}0 \cdot 10^{3}$	—	12,0

Примечания

1 Импульсная характеристика определена при использовании только опорной ширины полосы пропускания приемника (см. таблицу 6).

2 Значения, приведенные в данной таблице, получены с учетом номинальных требований к функциям взвешивания детекторов. Следовательно, в проведении верификации калибровочной лабораторией нет необходимости.

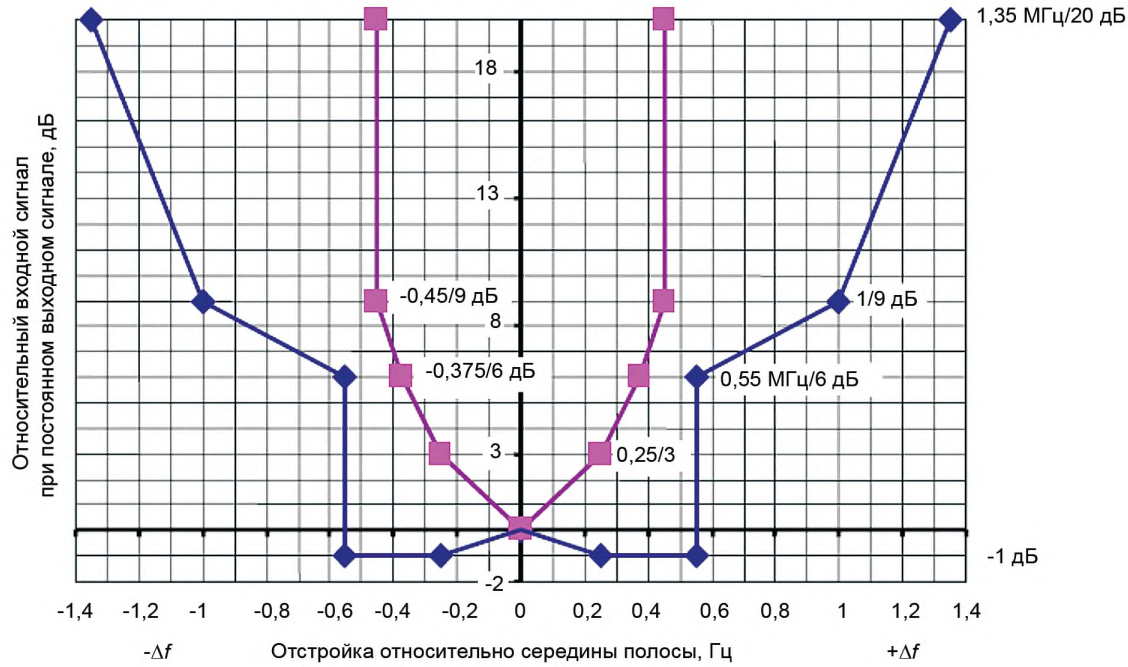
Выше 1 ГГц необходимая площадь импульсов определяется с использованием импульсно-модулированной несущей на частоте испытаний, т. к. генераторы импульсов с равномерным спектром до 18 ГГц не существуют (см. E.6).

5.6 Избирательность

Поскольку требования к ширине полосы пропускания приемника, приведенные в 5.3.1, допускают отклонение от характеристик избирательности, представленных на рисунках 5, 6 и 7, то эти характеристики избирательности применяются к измерительным приемникам с пиковым детектором только в отношении формы, а ось частот должна быть соответствующим образом масштабирована. Например, $B_6/2$ соответствует 100 Гц на рисунке 5.

Должны также выполняться требования 4.5.2, 4.5.3 и 4.5.4.

Значения характеристики избирательности в опорной полосе частот измерительного приемника для полосы частот E должны находиться в пределах, указанных на рисунке 9.



Примечания

1 Предельные значения ширины импульсной полосы пропускания не представляется возможным представить на рисунке, т. к. соответствующее затухание фильтра зависит от типа фильтра. Поэтому для ориентации заданы границы ширины полосы на уровне 6 и 9 дБ.

2 Предельные значения характеристики избирательности определены с учетом оборудования, используемого на время введения требований к избирательности.

Рисунок 9 — Предельные значения характеристики избирательности — полоса пропускания (полоса частот E)

5.7 Эффекты интермодуляции, шум приемника и экранирование

Для диапазона частот ниже 1 ГГц применяют требования, установленные в 4.6, 4.7 и 4.8. Требования 4.7 и 4.8.2 также применимы для полосы частот E.

Кроме того, для полосы частот E:

- требования к ограничению эффектов интермодуляции находятся на рассмотрении;
- фильтр преселекции: при измерении слабых паразитных сигналов в присутствии сильного основного сигнала для некоторых образцов испытуемого оборудования рекомендуется использовать фильтр на входе измерительного приемника (внутренний или внешний). Фильтр обеспечивает необходимое ослабление на основной частоте для защиты входных цепей приемника от перегрузки и повреждения, а также предотвращает образование гармонических и интермодуляционных сигналов;
- при наличии нескольких основных частот может понадобиться несколько фильтров.

Примечание — На основной частоте испытуемого оборудования обычно достаточно затухания фильтра 30 дБ.

Требования к эффективности экранирования, т. е. к устойчивости функционирования при высоких уровнях внешних радиочастотных полей, находятся на рассмотрении.

6 Измерительные приемники с детектором средних значений для полосы частот от 9 кГц до 18 ГГц

6.1 Общие положения

В общем случае измерительные приемники с детектором средних значений не используются для измерения импульсных помех. Этот тип приемника имеет детектор, предназначенный для нахождения средних значений огибающей сигнала, прошедшего через каскады, предшествующие детектору. Детек-

тор средних значений используется для измерения узкополосных сигналов и преодоления проблем, связанных с модуляцией или наличием широкополосного шума.

Анализаторы спектра и FFT-измерительные приборы, соответствующие требованиям настоящего раздела, допускается использовать при измерениях в целях оценки соответствия. При измерении электромагнитной эмиссии FFT-измерительные приборы должны производить выборку и определять численные значения сигнала непрерывно в течение времени измерения.

6.2 Входное полное сопротивление

Входная цепь измерительного приемника должна быть несимметричной. Для уставок приемника в пределах области измерений CISPR номинальное значение входного полного сопротивления должно быть 50 Ом с КСВ по напряжению, не превышающим значений, установленных в таблице 5.

Симметричное входное полное сопротивление в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц: для проведения измерений симметричных сигналов (без заземления) используется симметрирующий трансформатор. Предпочтительное входное полное сопротивление для полосы частот от 9 до 150 кГц равно 600 Ом. Симметричное входное полное сопротивление может обеспечиваться соответствующим симметричным эквивалентом сети, необходимым для связи с приемником, либо может быть дополнительно инкорпорировано в измерительный приемник.

6.3 Основные характеристики

6.3.1 Ширина полосы пропускания

Ширина полосы пропускания должна находиться в пределах значений, указанных в таблице 8.

Таблица 8 — Требования к ширине полосы пропускания измерительного приемника с детектором средних значений

Полоса частот измерительного приемника	Ширина полосы B_6	Опорное значение ширины полосы
От 9 до 150 кГц (полоса частот A)	(100—300) Гц[a]	200 Гц (B_6)
От 150 кГц до 30 МГц (полоса частот B)	(8—10) кГц[a]	9 кГц (B_6)
От 30 до 1000 МГц (полосы частот C и D)	(100—500) кГц[a]	120 кГц (B_6)
От 1 до 18 ГГц (полоса частот E)	(0,3—2,0) МГц[a]	1 МГц[b] (B_{imp})
[a] О ширине полосы пропускания см. E.1 приложения E. Если используют ширину полосы пропускания, отличающуюся от опорной, ее значение указывают вместе с измеренным уровнем помех. [b] Выбранная ширина полосы пропускания определяется так же, как в таблице 6.		

6.3.2 Коэффициент перегрузки

Для приемников с детектором средних значений коэффициент перегрузки каскадов, предшествующих детектору, должен быть равен B_{imp}/n, где n — частота повторения импульсов (B_{imp}, n в герцах). Приемник не должен перегружаться при частоте импульсов, равной или большей 25 Гц для полосы частот A, 500 Гц для полосы частот B, 5000 Гц для полос частот C и D.

Примечание — В общем случае для приемника с детектором средних значений невозможно достичь коэффициента перегрузки, позволяющего предотвратить нелинейный режим работы приемника при крайне низких частотах повторения импульсов (отклик на одиночный импульс не определяется).

6.4 Точность измерения синусоидального напряжения

Погрешность измерения синусоидального напряжения должна быть не более ± 2 дБ (не более ± 2,5 дБ для частот выше 1 ГГц), если приемник измеряет синусоидальный сигнал источника с внутренним резистивным сопротивлением 50 Ом.

6.5 Импульсная характеристика

6.5.1 Общие положения

Примечание — Приложения B и C описывают методы определения выходных характеристик генераторов импульсов, используемых при испытаниях в соответствии с требованиями настоящего подраздела.

6.5.2 Амплитудное соотношение

На частотах до 1000 МГц детектор средних значений определяется следующим образом (линейный детектор средних значений): показание измерительного приемника при подаче на его вход импульсов частотой повторения n, Гц, площадью 1,4/n, мВс (где B_{imp} измеряется в герцах), ЭДС, при сопротивлении источника 50 Ом, должно быть таким же, как при подаче на его вход немодулированного синусоидального сигнала на частоте настройки со среднеквадратичным значением ЭДС 2 мВ [66 дБ (мкВ)].

Сопротивление источника импульсного генератора, и генератора сигналов должно быть одинаковым. Импульсы должны иметь однородный спектр в соответствии с таблицей 2. Допускаемое отклонение уровня напряжения синусоидального сигнала — не более ± 1,5 дБ.

Примечание 1 — При частотах повторения 25, 100, 500, 1000 и 5000 Гц соотношение между показаниями измерительных приемников с детекторами средних и квазипиковых значений приведено в таблице 9. Предполагается, что приемники обладают одной и той же шириной полосы пропускания, коэффициент перегрузки соответствует требованиям и обеспечен постоянный выходной уровень сигнала.

Таблица 9 — Относительная импульсная характеристика измерительных приемников с детекторами средних и квазипиковых значений при одинаковой ширине полосы пропускания (полоса частот от 9 кГц до 1000 МГц)

Полоса частот измерительного приемника	Отношение квазипиковое/среднее значение, дБ, для частоты повторения импульсов				
	25 Гц	100 Гц	500 Гц	1000 Гц	5000 Гц
От 9 до 150 кГц (полоса частот A)	12,4				
От 150 кГц до 30 МГц (полоса частот B)		(32,9)	22,9	(17,4)	
От 30 до 1000 МГц (полосы частот C и D)				(38,1)	26,3

Примечания

1 Импульсная характеристика определена при использовании только опорной ширины полосы пропускания приемника (см. таблицу 8).

2 Значения в скобках приведены только для информации.

3 Значения, приведенные в данной таблице, получены с учетом номинальных требований к функциям взвешивания детекторов. Следовательно, в проведении верификации калибровочной лабораторией нет необходимости.

Свыше 1 ГГц (полоса частот E) определены два режима детектора средних значений — линейный и логарифмический.

Для линейного режима детектора средних значений показание измерительного приемника при подаче на его вход импульсов частотой повторения n, Гц, площадью 1,4/n, мВс, ЭДС, при сопротивлении источника 50 Ом, должно быть таким же, как при подаче на его вход немодулированного синусоидального сигнала на частоте настройки со среднеквадратичным значением ЭДС 2 мВ [66 дБ (мкВ)]. Импульс должен быть определен как импульсно-модулированная несущая. Значение n должно быть 50 000 Гц. Допускаемое отклонение уровня напряжения синусоидального сигнала — не более ± 1,5 дБ.

Для логарифмического режима детектора средних значений показание измерительного приемника при подаче на его вход импульсов частотой повторения 333 кГц (обратной периоду 3 мс) и площадью 6,7 нВс, ЭДС, при сопротивлении источника 50 Ом, должно быть таким же, как при подаче на его вход немодулированного синусоидального сигнала на частоте настройки со среднеквадратичным значением, ЭДС, 2 мВ [66 дБ (мкВ)]. Допускаемое отклонение уровня напряжения синусоидального сигнала — не более ± 4 дБ (допускаемое отклонение ширины полосы пропускания 10 % вызывает отклонение уровня напряжения синусоидального сигнала около ± 2,5 дБ).

Для получения дополнительной информации см. Е.6 приложения Е.

Взвешенное детектирование средних значений может быть достигнуто с применением анализатора спектра, работающего с шириной полосы видеосигнала $B_{video} << B_{resol}$. При этом обеспечивается надлежащее усреднение с учетом частоты повторения измеряемого сигнала. При выполнении измерений на основе сокращения полосы пропускания видеосигнала необходимо убедиться, что время сканирования при выполнении одного измерения является достаточно длительным, чтобы видеофильтр отреагировал корректно.

Примечание 2 — При взвешенном измерении средних значений в линейном режиме результат будет соответствовать среднему уровню измеряемого сигнала. Если используется логарифмический режим, то результат

должен соответствовать среднему уровню логарифмических значений измеряемого сигнала. Таким образом, для сигнала, имеющего форму меандра с чередующимися значениями 20 и 60 дБ (мкВ), в логарифмическом режиме будет получен уровень 40 дБ (мкВ), тогда как в линейном режиме будет получен уровень 54,1 дБ (мкВ), соответствующий истинному среднему значению сигнала.

6.5.3 Изменение частоты повторения

Импульсная характеристика измерительного приемника с линейным детектором средних значений при воздействии повторяющихся импульсов должна быть такой, чтобы постоянное значение показаний поддерживалось при условии выполнения следующего соотношения между амплитудой и частотой повторения:

амплитуда пропорциональна (частоте повторения)$^{-1}$.

В полосе частот между наименьшей частотой повторения импульсов (выбираемой из требования к коэффициенту перегрузки) и частотой, равной $B_3/2$, допускается отклонение импульсной характеристики в пределах от плюс 3 до минус 1 дБ.

Примечание 1 — Теоретические кривые импульсной характеристики измерительных приемников с квазипиковым детектором и детектором средних значений представлены на рисунке 4 (шкала в абсолютных единицах). Импульсная характеристика измерительного приемника с детектором средних значений в логарифмическом режиме (частота свыше 1 ГГц) при воздействии повторяющихся импульсов зависит от уровня помех между импульсами.

Используя следующие величины:

- L_{logAv} — уровень, измеренный детектором средних значений в логарифмическом режиме;
- T_P — длительность импульса, мкс;
- L_P — значение амплитуды импульса, дБ(мкВ);
- T_N — длительность помех между импульсами, мкс;
- L_N — уровень помех, дБ(мкВ),

получим соотношение:

$$L_{logAv} = \frac{T_p L_p + T_N L_N}{T_p + L_N}.$$

Пример — Если значение амплитуды импульсов L_P = 85 дБ (мкВ) и уровень помех L_N = 8 дБ (мкВ), $T_P = 1/B_{imp}$ = 1мкс, частота повторения импульсов n = 100000, то $T_N \approx 9$ мкс. Тогда L_{logAv} = 15,7 дБ (мкВ). В действительности значение L_{logAv} будет больше из-за того, что значение T_P выше, т. к. после окончания импульса длительностью 1 мкс импульсный сигнал на выходе промежуточной частоты мгновенно не уменьшается до уровня помех.

Примечание 2 — Допустимое отклонение на рассмотрении.

6.5.4 Измерение скачкообразных, нестабильных и дрейфующих узкополосных помех

Отклик на прерывистые, нестационарные и дрейфующие узкополосные помехи должен быть таким, чтобы результат измерения был эквивалентен пиковому значению, считываемому с измерителя при постоянной времени 160 мс для полос частот A и B и 100 мс для полос частот C и D, как представлено на рисунке 11. Постоянная времени определена в A.3.2 приложения A. Такие измерения могут быть проведены с помощью схемы, имитирующей индикаторный прибор, установленной после детектора огибающей. Например, пиковое значение можно получить непрерывным контролем выходного сигнала прибора с использованием аналого-цифрового преобразователя и микропроцессора, как показано на рисунке 10.

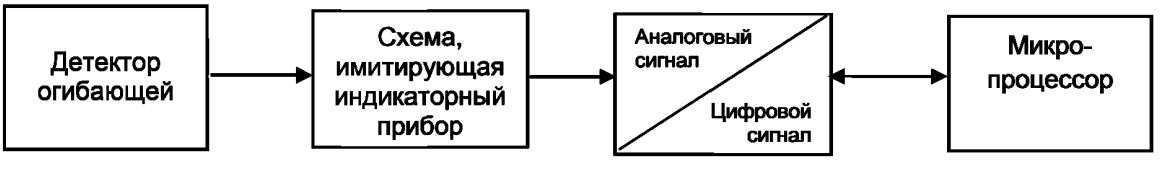


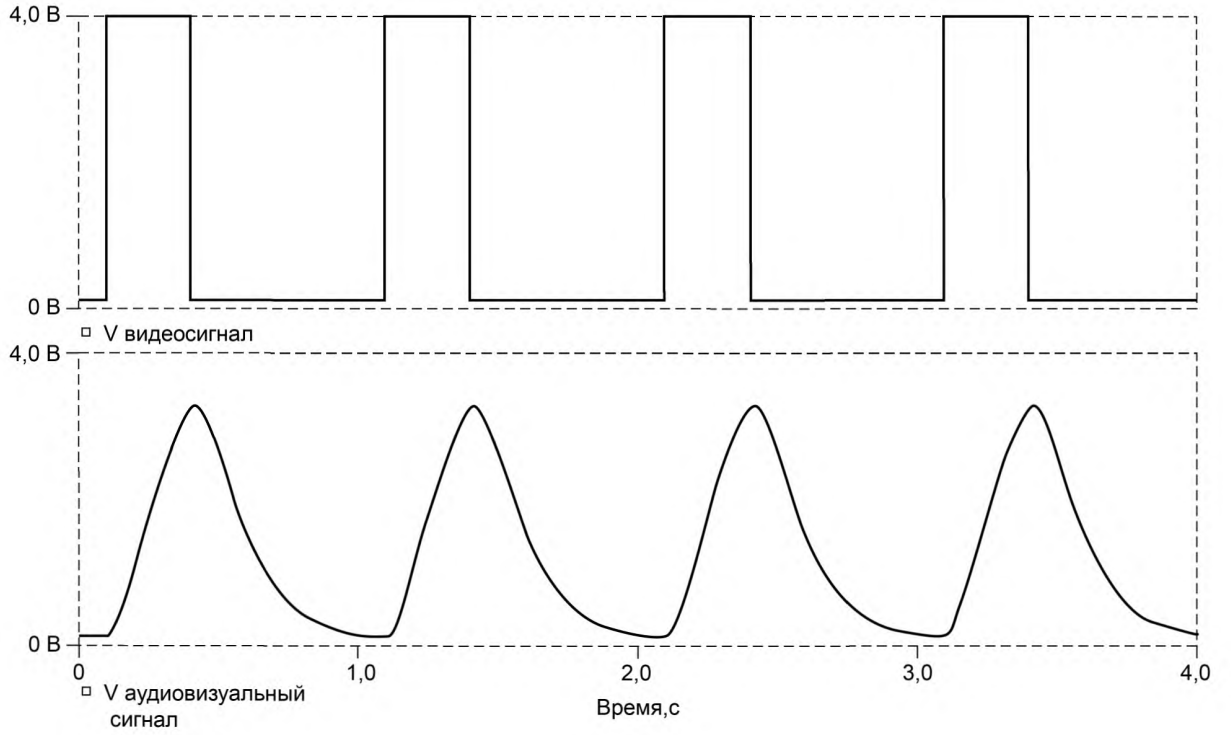
Рисунок 10 — Блок-схема детектора средних значений

Для полосы частот E постоянная времени для детектора средних значений в линейном режиме равна 100 мс. Для детектора средних значений в логарифмическом режиме требования находятся на рассмотрении.

Из сказанного выше следует, что при высокочастотном синусоидальном входном сигнале, модулированном повторяющимися прямоугольными импульсами, максимальные показания измерительного приемника с детектором средних значений будут соответствовать таблице 10 при длительности и периоде повторения импульсов, указанных в этой таблице. Для данного требования допустимые отклонения составляют ± 1,0 дБ.

Таблица 10 — Максимальные показания измерительного приемника с детектором средних значений при синусоидальном входном сигнале, модулированном импульсами, по сравнению с откликом на незатухающее гармоническое колебание той же амплитуды

Повторяющиеся прямоугольные импульсы для модуляции	Приемник для полос частот A, B	Приемник для полос частот C, D
	T_M = 0,16 с	T_M = 0,1 с
Длительность = T_M Период = 1,6 с	0,353 (= –9,0 дБ)	0,353 (= –9,0 дБ)
Примечание — Для полосы частот E приведенные данные применимы только в случае линейного детектора средних значений.		



Примечания

1 Показанный отклик вызван скачкообразным узкополосным сигналом длительностью 0,3 с и частотой повторения 1 Гц, постоянная времени при этом равна 100 мс. При постоянной времени 160 мс пиковые значения на выходе эквивалента измерителя будут меньше.

2 Отклик на скачкообразные узкополосные помехи может также быть определен в случае детектора средних значений в логарифмическом режиме, функционирующего при определенной полосе пропускания видеосигнала, например 10 Гц, и с максимальной функцией удержания при отображении спектра.

Рисунок 11 — Иллюстрация отклика эквивалента измерителя на скачкообразный узкополосный сигнал

6.6 Избирательность

Для измерительных приемников с шириной полосы пропускания 200 Гц (для полосы частот от 9 до 150 кГц) или с шириной полосы пропускания 9 кГц (для полосы частот от 0,15 до 30 МГц) характеристики избирательности должны быть в пределах, указанных на рисунках 5 и 6 соответственно. Для приемников с шириной полосы пропускания 120 кГц (для полосы частот от 30 до 1000 МГц) характеристика

избирательности должна быть в пределах, указанных на рисунке 7. Для приемников, имеющих другие полосы пропускания, рисунки 5, 6 и 7 описывают только форму характеристики избирательности, ось частот при этом должна быть соответственно масштабирована. Кривая, отражающая характеристику избирательности измерительного приемника с опорной шириной полосы частот для полосы частот E, должна находиться в пределах, указанных на рисунке 9.

Применяют требования 4.5.2, 4.5.3 и 4.5.4.

Примечание — При проведении измерений для оборудования, которое требует более высокой избирательности в полосе частот от 130 до 150 кГц (например, для оборудования передачи сигналов по электрическим сетям в соответствии с определением по EN 50065-1 [18]), допускается перед измерительным приемником дополнительно включать фильтр верхних частот для обеспечения общей избирательности измерительного приемника и фильтра верхних частот, указанной ниже.

Частота, кГц	Относительное затухание, дБ
150	≤ 1
146	≤ 6
145	≥ 6
140	≥ 34
130	≥ 81

Измерительный приемник в комбинации с фильтром верхних частот должен соответствовать требованиям настоящего стандарта.

6.7 Эффекты интермодуляции, шум приемника и экранирование

Должны применяться требования 5.7.

7 Измерительные приемники с детектором среднеквадратичных-средних значений для полосы частот от 9 кГц до 18 ГГц

7.1 Общие положения

Взвешивающие измерительные приемники с детектором среднеквадратичных-средних значений используют взвешивающий детектор, представляющий собой комбинацию детектора среднеквадратичных значений (для частот повторения импульсов выше частоты f_c) и детектора средних значений (для частот повторения импульсов ниже частоты f_c). При частоте f_c происходит изменение угла наклона кривой импульсной характеристики. Частотная характеристика такого детектора имеет наклон 10 дБ/декада выше частоты f_c и 20 дБ/декада ниже частоты f_c.

Анализаторы спектра и FFT-измерительные приборы, соответствующие требованиям настоящего раздела, допускается использовать при измерениях в целях оценки соответствия. При измерении электромагнитной эмиссии FFT-измерительные приборы должны производить выборку и определять численные значения сигнала непрерывно в течение времени измерения.

7.2 Входное полное сопротивление

Входная цепь измерительного приемника должна быть несимметричной. Для уставок приемника в пределах области измерений CISPR номинальное значение входного полного сопротивления должно быть 50 Ом с КСВ по напряжению, не превышающим значений, установленных в таблице 11.

Таблица 11 — Требования к коэффициенту стоячей волны по напряжению для входного полного сопротивления приемника

Полоса частот	Радиочастотное затухание, дБ	КСВ по напряжению
От 9 кГц до 1 ГГЦ	0	От 2,0 до 1
От 9 кГц до 1 ГГЦ	10	От 1,2 до 1

Окончание таблицы 11

Полоса частот	Радиочастотное затухание, дБ	КСВ по напряжению
От 1 до 18 ГГц	0	От 3,0 до 1
От 1 до 18 ГГц	10	От 2,0 до 1

Симметричное входное полное сопротивление в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц: для проведения измерений симметричных сигналов (без заземления) используется симметрирующий трансформатор. Предпочтительное входное полное сопротивление для полосы частот от 9 до 150 кГц равно 600 Ом. Симметричное входное полное сопротивление может обеспечиваться соответствующим симметричным эквивалентом сети, необходимым для связи с приемником, либо может быть дополнительно инкорпорировано в измерительный приемник.

7.3 Основные характеристики

7.3.1 Ширина полосы пропускания

Ширина полосы пропускания должна находиться в пределах значений, указанных в таблице 12.

Таблица 12 — Требования к ширине полосы пропускания измерительного приемника с детектором среднеквадратичных-средних значений

Полоса частот	Ширина полосы пропускания
От 9 до150 кГц (полоса частот A)	200 Гц (B_6)
От 150 кГц до 30 МГц (полоса частот B)	9 кГц (B_6)
От 30 до 1000 МГц (полосы частот C и D)	120 кГц (B_6)
От 1 до 18 ГГц (полоса частот E)	1 МГц (B_{imp})
Примечание — Установленное значение для полосы частот E определяется как импульсная ширина полосы пропускания измерительного приемника с допустимым отклонением ± 10 %.	

7.3.2 Коэффициент перегрузки

Для частот выше частоты f_c изменения наклона кривой импульсной характеристики, определенной ниже, коэффициент перегрузки для каскадов, предшествующих детектору, при частоте следования импульсов n, Гц, должен быть 1,27 $(B_3/n)^{1/2}$, где B_3 измеряется в герцах. Ниже частоты f_c коэффициент перегрузки при частоте следования импульсов n, Гц, должен быть выше 1,27 $(B_3/f_c)^{1/2} \cdot (f_c/n)$.

Примечание 1 — Частота f_c является частотой повторения импульсов, выше которой детектор среднеквадратичных-средних значений ведет себя как детектор среднеквадратичных значений и ниже которой детектор среднеквадратичных-средних значений имеет наклон кривой импульсной характеристики, соответствующий наклону детектора средних значений в линейном режиме.

Минимальная частота повторения импульсов без перегрузки должна соответствовать значениям, указанным в таблице 13.

Таблица 13 — Минимальная частота повторения импульсов без перегрузки

Полоса частот измерительного приемника	Частота f_c, кГц	Минимальная частота повторения импульсов, Гц	Отношение показаний пиковых и среднеквадратичных-средних значений, дБ
От 9 до 150 кГц (полоса частот A)	0,01	5	19
От 0,15 до 30 МГц (полоса частот B)	0,01	5	35,5
От 30 до 1000 МГц (полосы частот C и D)	0,1	31,6	40,6
От 1 до 18 ГГц (полоса частот E)	1	316	40

Примечания

2 При этом типе детектора, как правило, невозможно обеспечить достаточный коэффициент перегрузки для предотвращения работы прибора в нелинейном режиме при крайне низких частотах повторения коротких импульсов в полосах частот C/D и E (в этих полосах частот отклики на короткие одиночные импульсы определены только теоретически).

3 Приложение A регламентирует расчет коэффициента перегрузки детектора среднеквадратичных значений. Приложение B описывает определение спектра генератора импульсов. Приложение C описывает точное измерение уровней сигналов на выходе генераторов наносекундных импульсов.

4 В полосе частот E испытания могут быть проведены с импульсно-модулированным синусоидальным сигналом, занимающим полосу частот, например, 2 МГц. В E.6 приложения E приведены требования к применимому испытательному сигналу.

7.4 Точность измерения синусоидального напряжения

Погрешность измерения синусоидального напряжения должна быть не более ± 2 дБ (не более ± 2,5 дБ для частот выше 1 ГГц), если приемник измеряет синусоидальный сигнал источника с внутренним резистивным сопротивлением 50 Ом.

7.5 Импульсная характеристика

7.5.1 Конструктивные особенности

Функция детектора может быть представлена детектором среднеквадратичных значений, который непрерывно определяет действующие значения в периоды времени, равные обратному значению частоты f_c. Затем эти действующие значения проходят через фильтр низких частот второго порядка, соответствующий критически демпфированному индикатору детектора квазипиковых значений с постоянной времени, определенной для полосы частот до 1 ГГц. Для полосы частот E постоянная времени равна 100 мс. В случае изменений во времени максимальный выходной сигнал фильтра нижних частот представляет собой результат измерения.

Примечание — Приложения B, C и E регламентируют способы определения выходных характеристик импульсных генераторов, пригодных для использования при испытаниях по требованиям настоящего пункта.

7.5.2 Амплитудное соотношение

Показание измерительного приемника для полосы частот A при подаче на его вход импульсов площадью $278 \cdot (B_3)^{-1/2}$ мкВс, ЭДС, при сопротивлении источника 50 Ом, которые имеют равномерный спектр по крайней мере до самых высоких из доступных частот полосы A и частоту повторения 25 Гц, должен быть таким же, как при подаче немодулированного синусоидального сигнала на частоте настройки со среднеквадратичным значением ЭДС 2 мВ [66 дБ (мкВ)].

Для измерительных приемников и полос частот B, C, D и E соответствующие значения равны $44 \cdot (B_3)^{-1/2}$ мкВс и 1000 Гц. Сопротивление источника импульсного генератора и генератора сигналов должно быть одинаковым.

Допускаемое отклонение уровня напряжения синусоидального сигнала — не более ± 1,5 дБ.

Примечание — Приложение A содержит расчет импульсной характеристики среднеквадратичного детектора. При частотах повторения 25 и 100 Гц (т. е. опорных частотах повторения импульсов детектора квазипиковых значений), соответственно, соотношение между показаниями детекторов среднеквадратичных-средних и квазипиковых значений при одной и той же ширине полосы пропускания приведены в таблице 14.

Таблица 14 — Относительные импульсные характеристики измерительных приемников с детекторами среднеквадратичных-средних и квазипиковых значений

Полоса частот измерительного приемника	Частота повторов импульсов, Гц	Отношение показаний детекторов квазипиковых и среднеквадратичных-средних значений, дБ
От 9 до 150 кГц (полоса частот A)	25	4,2
От 0,15 до 30 МГц (полоса частот B)	100	14,3
От 30 до 1000 МГц (полосы частот C и D)	100	20,1

7.5.3 Зависимость от частоты повторения

Импульсная характеристика измерительного приемника при воздействии повторяющихся импульсов должна быть такой, чтобы выше частоты f_c постоянное значение показаний поддерживалось при условии выполнения следующего соотношения между амплитудой и частотой повторения:

амплитуда пропорциональна (частоте повторения) $^{-1/2}$.

Ниже частоты f_c соотношение должно соответствовать правилу:

амплитуда пропорциональна (частоте повторения) $^{-1}$.

Кривая импульсной характеристики для конкретного измерительного приемника должна находиться в пределах значений, указанных в таблице 15.

Таблица 15 — Импульсная характеристика измерительного приемника с детектором среднеквадратичных-средних значений

Частота повторения, Гц	Относительный эквивалентный уровень импульса, дБ			
	Полоса частот A	Полоса частот B	Полосы частот C и D	Полоса частот E
100 000	—	—	(–20 ± 2,0)	–20 ± 2,0
10 000	—	—	–10 ± 1,0	–10 ± 1,0
1000	—	0 (опорный уровень)	0 (опорный уровень)	0 (опорный уровень)
316	—	+5 ± 0,5	+5 ± 0,5	+10 ± 1,0
100	–6 ± 0,6	+10 ± 1,0	+10 ± 1,0	(+20 ± 2,0)
31,6	—	+15 ± 1,5	+20 ± 2,0	
25	0 (опорный уровень)	+16 ±1,6		
10	+4 ± 0,4	+20 ± 2,0		
5	+9 ± 0,7	+25 ± 2,3		
1	—	—		

Примечания
1 Значения в скобках приведены только для информации.
2 Значения при 5 Гц для полос частот A и B учитывают эффект от постоянной времени детектора.

7.5.4 Измерение скачкообразных, непостоянных и дрейфующих узкополосных помех

Отклик на прерывистые, нестационарные и дрейфующие узкополосные помехи должен быть таким, чтобы результат измерения был эквивалентен пиковому значению, считываемому с измерителя при постоянной времени 160 мс для диапазонов A и B и 100 мс для диапазонов C и D. Это может быть достигнуто с помощью схемы (аналоговой или цифровой), имитирующей индикаторный прибор, для которого среднеквадратичные значения, описанные в 7.5.1, используются в качестве входных.

Из сказанного выше следует, что при высокочастотном синусоидальном входном сигнале, модулированном повторяющимися прямоугольными импульсами, максимальные показания измерительного приемника с детектором среднеквадратичных-средних значений будут соответствовать приведенным в таблице 9 при длительности и периоде повторения импульсов, указанных в таблице 16. Для данного требования допустимые отклонения составляют ±1,0 дБ.

Таблица 16 — Максимальное показание измерительного приемника с детектором среднеквадратичных-средних значений при синусоидальном входном сигнале, модулированном импульсами, по сравнению с откликом на незатухающий синусоидальный сигнал той же амплитуды

Повторяющиеся прямоугольные импульсы для модуляции	Приемник для полос частот A, B	Приемник для полос частот C, D
	T_M = 0,16 с	T_M = 0,1 с
Длительность = T_M Период = 1,6 с	0,398 (= –7,9 дВ)	0,353 (= –9,0 дВ)
Примечание — Значение для полос частот A, B может варьировать в пределах ± 0,5дВ из-за особенностей усреднения действующего значения с постоянной времени 100 мс при длительности импульса 160 мс.		

7.6 Избирательность

Характеристики избирательности измерительных приемников с взвешивающими детекторами среднеквадратичных-средних значений должны соответствовать предельным значениям, указанным на рисунках 5, 6, 7 для полос частот A, B, C и D. Для полосы частот E предельные значения характеристики избирательности представлены на рисунке 9.

Применяют требования 4.5.2, 4.5.3 и 4.5.4.

Для приемников полосы частот E требования находятся в разработке.

7.7 Эффекты интермодуляции, шум приемника и экранирование

Для полосы частот ниже 1 ГГц применяют требования, установленные в 4.6, 4.7 и 4.8. Требования 4.7 и 4.8.2 также применимы для полосы частот E.

Кроме того, для полосы частот E:

- требования к ограничению эффектов интермодуляции находятся на рассмотрении;
- фильтр преселекции для полосы частот E: при измерении слабых паразитных сигналов в присутствии сильного основного сигнала для некоторых образцов испытуемого оборудования рекомендуется использовать фильтр на входе измерительного приемника (внутренний или внешний). Фильтр обеспечивает необходимое ослабление на основной частоте для защиты входных цепей приемника от перегрузки и повреждения, а также предотвращает образование гармонических и интермодуляционных сигналов;
- при наличии нескольких основных частот может понадобиться несколько фильтров.

Примечание — На основной частоте испытуемого оборудования обычно достаточно затухания фильтра 30 дБ.

Требования к эффективности экранирования, т. е. к устойчивости функционирования при высоких уровнях внешних радиочастотных полей, находятся на рассмотрении.

8 Измерительные приемники с функцией измерения распределения вероятностей амплитуд (APD) для полосы частот от 1 до 18 ГГц

Функцию распределения амплитуд помех определяют как совокупное распределение вероятности времени, в течение которого амплитуда помехи превышает установленный уровень.

Функция распределения амплитуд может быть измерена на выходе детектора огибающей или последующих каскадов радиочастотного измерительного приемника или анализатора спектра. Амплитуда помех должна быть выражена в значениях напряженности поля или напряжения на входе измерительного приемника.

Обычно функцию распределения амплитуд помех определяют на фиксированной частоте.

Функция измерения распределения амплитуд является дополнительной функцией для измерительной аппаратуры и может быть реализована дополнительным оборудованием или инкорпорирована в измерительный прибор.

Функция распределения амплитуд может быть реализована с использованием следующих методов. При одном из них используются устройства сравнения и счетчики (рисунок G.1). Устройство определяет вероятность превышения предустановленных амплитуд (уровней напряжения). Число уровней равно числу устройств сравнения. При другом способе используют аналого-цифровой преобразователь, логическую схему и устройство памяти (рисунок G.2).

Оборудование также может представлять функцию распределения амплитуд в виде графика для предустановленных уровней амплитуды. Число уровней зависит от разрешающей способности используемого аналого-цифрового преобразователя (например, 256 уровней — для 8-битового преобразователя).

Измерения вероятностей с использованием указанной выше функции распределения амплитуд помех целесообразно проводить для изделий или семейств изделий, которые могут создавать помехи цифровым системам связи (см. 4.7 CISPR 16-3:2010/AMD 1:2012, справочный материал по вероятностям распределения амплитуд, функциям распределения амплитуд, техническим характеристикам).

При реализации измерительной функции, относящейся к нахождению функции распределения амплитуд помех, должны выполняться технические требования, обоснование которых приведено в приложении G.

Технические требования:

a) динамический диапазон амплитуд должен превышать 60 дБ;

b) точность определения амплитуд, включая ошибки установки пороговых уровней, должна быть менее 2,7 дБ;

c) максимальное время измерения помехи должно быть не менее 2 мин. Измерение прерывистых помех допускается проводить, если время нечувствительности прибора составляет менее 1 % всего времени измерения;

d) минимальное значение измеряемой вероятности должно быть 10^{-7};

e) измерение функции распределения амплитуд должно проводиться при не менее чем двух уровнях амплитуды. Вероятности, соответствующие всем предварительно выбранным уровням, должны определяться одновременно. Разрешение при предварительном выборе амплитуд должно быть не ниже 0,25 дБ;

f) скорость выборки должна быть не менее 10 млн отсчетов/с при полосе разрешения 1 МГц.

Рекомендуемое требование:

g) разрешение по амплитуде дисплея, отображающего функцию распределения, должно быть менее 0,25 дБ для оборудования с аналогово-цифровым преобразователем.

Примечание — Измерение функции распределения амплитуд помех допускается проводить в полосе частот ниже 1 ГГц.

9 Анализаторы помех

9.1 Общие положения

Анализаторы помех применяют для автоматической оценки амплитуды, частоты и длительности прерывистых (кратковременных) помех. Кратковременная помеха имеет следующие признаки:

a) квазипиковое значение помехи превышает норму квазипиковых значений непрерывных помех;

b) длительность помехи — не более 200 мс;

c) длительность интервала, разделяющего (на оси времени) две соседние помехи, — не менее 200 мс.

Последовательность коротких импульсов должна трактоваться как кратковременная помеха, если длительность последовательности, измеренная от начала первого импульса до конца последнего, составляет не более 200 мс и выполняются условия a) и c). Временные параметры кратковременных помех определяются сигналом на выходе промежуточной частоты измерительного приемника, превышающим заданный (опорный) уровень.

Примечания

1 Определение и оценка кратковременных помех — в соответствии с CISPR 14-1.

2 Современные анализаторы помех разработаны для использования с измерительными приемниками с детектором квазипиковых значений, относящимися к типу, функционирующему при ограниченном внутреннем уровне сигнала. В связи с этим такие анализаторы помех могут не сопрягаться с измерительными приемниками некоторых типов.

9.2 Основные характеристики

a) Анализатор помех должен иметь канал для измерения длительностей импульсов помех и разделяющих их интервалов, подключаемый к выходу промежуточной частоты измерительного приемника. При измерениях длительностей должна рассматриваться только та часть импульса помехи, которая превышает опорный уровень промежуточной частоты измерительного приемника. Точность измерения длительности должна быть не хуже ± 5 %.

Примечание 1 — Под опорным уровнем промежуточной частоты понимают такой уровень сигнала на выходе промежуточной частоты измерительного приемника (при подаче на его вход немодулированного синусоидального сигнала), при котором показание приемника (в квазипиковых значениях) равно норме непрерывных помех.

b) Анализатор помех должен иметь канал для оценки квазипикового значения амплитуды помехи.

c) Амплитуда в канале оценки квазипиковых значений должна измеряться по прошествии 250 мс после спада заднего фронта последнего импульса помехи в канале промежуточной частоты.

d) Комбинация обоих каналов должна во всех отношениях соответствовать требованиям 4.1.

e) Анализатор помех должен иметь возможность измерять и регистрировать:

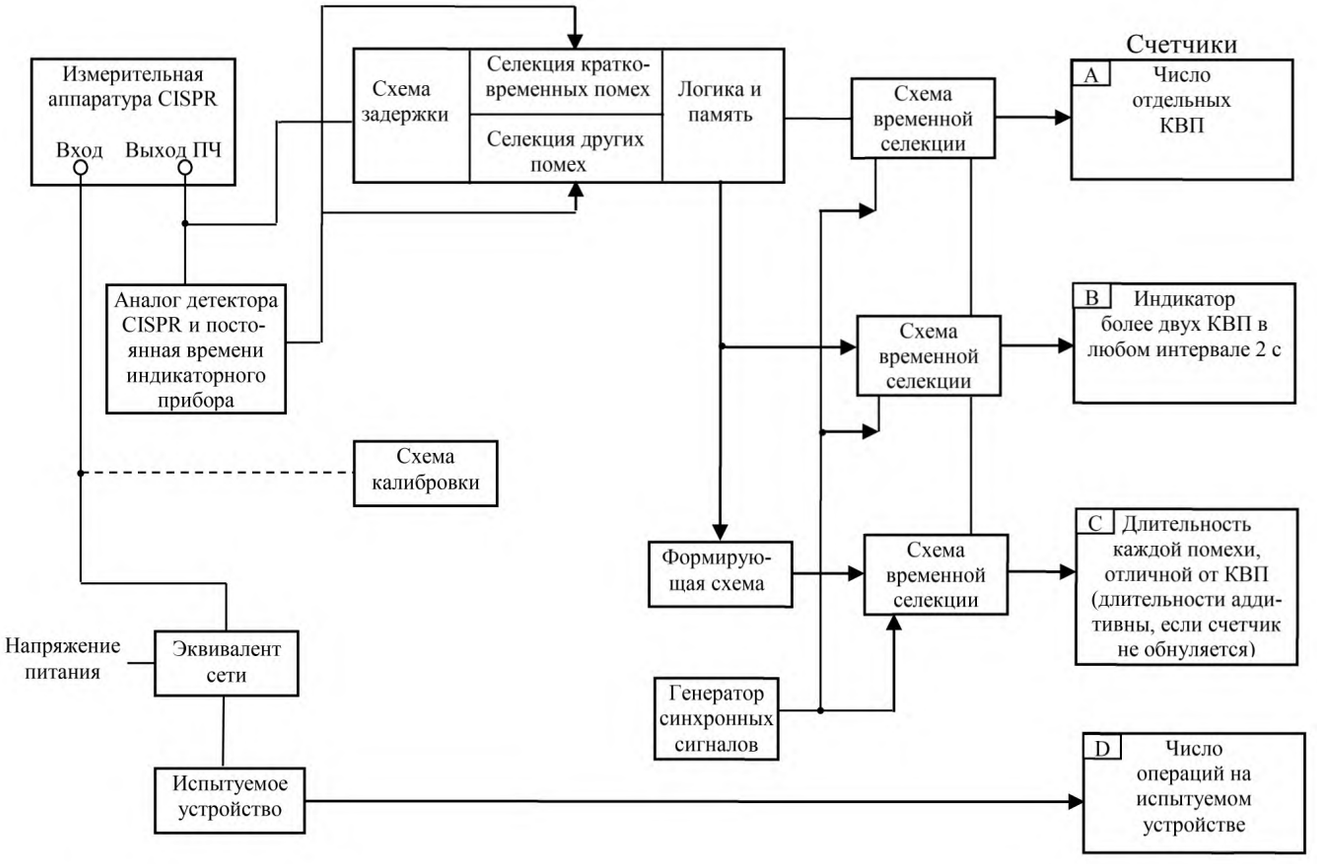
- число кратковременных помех длительностью, равной или меньшей 200 мс;
- длительность испытания в минутах;
- частоту повторения кратковременных помех;
- случаи появления помех, превышающих норму для непрерывной помехи (в квазипиковых значениях), но не являющихся кратковременными.

Примечание 2 — Пример блок-схемы анализатора помех приведен на рисунке 12.

f) Для валидации основных характеристик анализатора помех должна быть проведена проверка его качества функционирования со всеми сигналами (испытательными импульсами), приведенными в таблице 17.

На рисунке 13 в графическом виде представлены формы сигналов, приведенные в таблице 17.

На рисунке F.1 в графическом виде представлены все формы сигналов, приведенные в таблице F.1, для выполнения проверки исключений из определения кратковременной помехи по CISPR 14-1, пункт 4.2.3.



Примечание — КВП — кратковременная помеха.

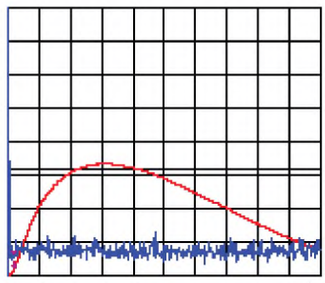
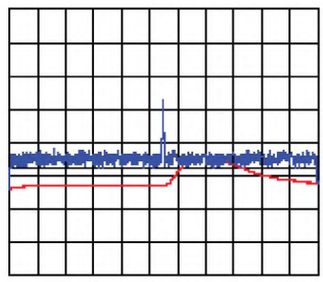
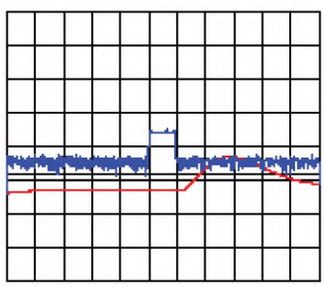
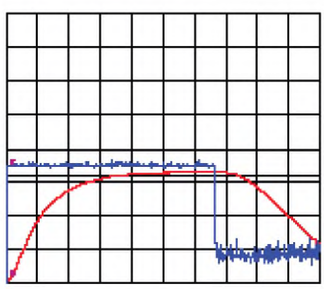
Рисунок 12 — Пример анализатора помех

Номер испытания	Испытательный сигнал	Требуемый результат оценки
1	0,11мс/1 дБ	1 КВП
2	9,5 мс/1 дБ; −1 с; +1 с	1 КВП
3	Фон: шум или импульсы CISPR, 200 Гц: – 2,5 дБ (квазипиковое значение); 190 мс/1 дБ; −1 с; +1 с	1 КВП
4	Фон: шум или импульсы CISPR, 200 Гц: – 2,5 дБ (квазипиковое значение); 1333 мс/1 дБ	Не является КВП
5	210 мс/1 дБ	Не является КВП
6	30 мс/5 дБ; 180 мс; 30 мс/5 дБ	Не является КВП
7	30 мс/5 дБ; 130 мс; 30 мс/5 дБ	1 КВП
8	30 мс/5 дБ; 210 мс; 30 мс/5 дБ	2 КВП
9	минимум 21 импульс / 0,11 мс/ с периодичностью 10 мс / 1 дБ	Не является КВП
10	30 мс/25 дБ; 265 мс; 30 мс/–2,5 дБ	1 КВП
11	190 мс/25 дБ; полоса B: 1034 мс/ полоса C – на рассмотрении; 30 мс/–2,5 дБ/2 дБ	2 КВП
12	190 мс/25 дБ; полоса B: 1166 мс/ полоса C – на рассмотрении; 30 мс/–2,5 дБ/2 дБ	1 КВП

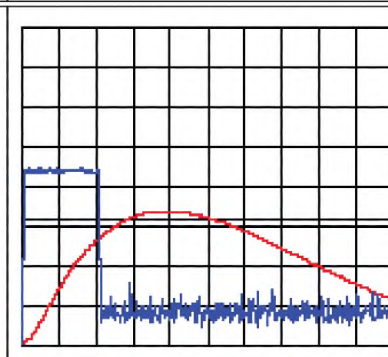
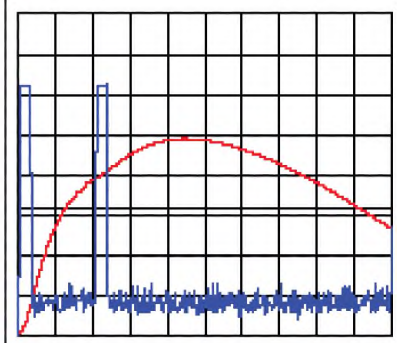
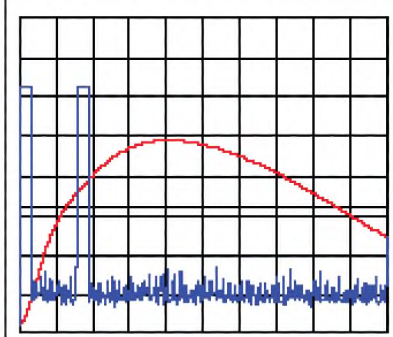
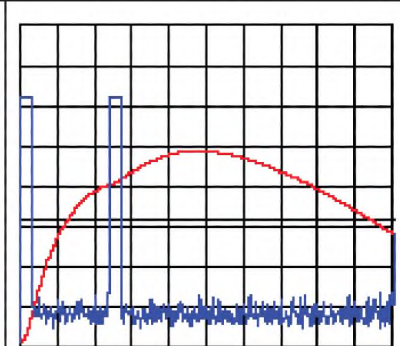
Примечание — КВП — временная помеха.

Рисунок 13 — Графическое представление испытательных сигналов, указанных в таблице 17, используемых при испытании анализатора помех с целью проверки качества его функционирования в соответствии с определением кратковременной помехи

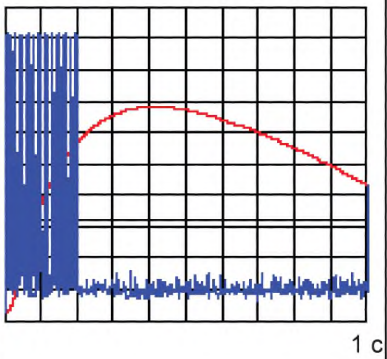
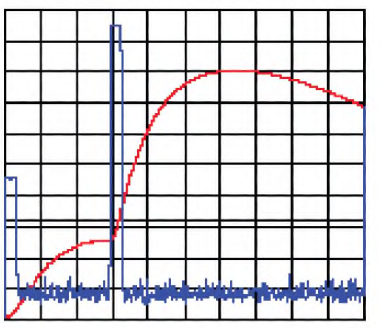
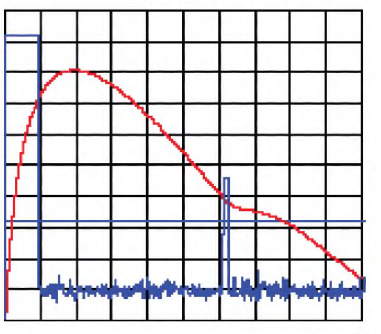
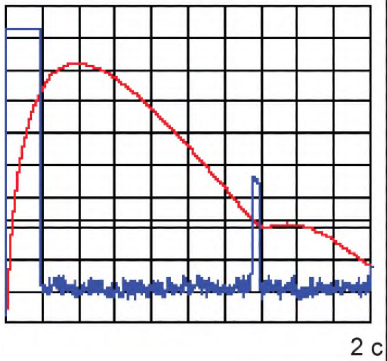
Таблица 17 — Испытание качества функционирования анализатора помех. Испытательные сигналы, используемые для определения соответствия определению кратковременной помехи (КВП)

Номер испытания	Параметр испытательного сигнала						
	1		2		3	4	5
	Квазипиковое значение амплитуды импульсов, измеренное относительно квазипикового опорного показания приемника, дБ		Длительность импульсов[f], измеренных на выходе ПЧ измерительного приемника, мс		Длительность интервала между импульсами или периодичность (выход ПЧ), мс	Оценка помехи анализатором помех	Графическое представление испытательного сигнала, наблюдаемого на выходе ПЧ, и связанного с ним квазипикового сигнала относительно опорного показания приемника
	Импульс 1	Импульс 2	Импульс 1	Импульс 2			
1	1	—	0,11	—	—	1 КВП	 1 с
2[a)]	1	—	9,5	—	—	1 КВП	 2,2 с
3[a)]	1	—	190	—	—	1 КВП	 2,2 с
4	1	—	1333[b)]	—	—	Не является КВП	 2 с

Продолжение таблицы 17

Номер испытания	Параметр испытательного сигнала						
	1		2		3	4	5
	Квазипиковое значение амплитуды импульсов, измеренное относительно квазипикового опорного показания приемника, дБ		Длительность импульсов[f)], измеренных на выходе ПЧ измерительного приемника, мс		Длительность интервала между импульсами или периодичность (выход ПЧ), мс	Оценка помехи анализатором помех	Графическое представление испытательного сигнала, наблюдаемого на выходе ПЧ, и связанного с ним квазипикового сигнала относительно опорного показания приемника
	Импульс 1	Импульс 2	Импульс 1	Импульс 2			
5	1	—	210	—	—	Не является КВП (210 мс)	 1 с
6	5	5	30	30	180	Не является КВП (240 мс)	 1 с
7	5	5	30	30	130	1 КВП	 1 с
8	5	5	30	30	210	2 КВП	 1 с

Продолжение таблицы 17

Номер испытания	Параметр испытательного сигнала						
	1		2		3	4	5
	Квазипиковое значение амплитуды импульсов, измеренное относительно квазипикового опорного показания приемника, дБ		Длительность импульсов[f], измеренных на выходе ПЧ измерительного приемника, мс		Длительность интервала между импульсами или периодичность (выход ПЧ), мс	Оценка помехи анализатором помех	Графическое представление испытательного сигнала, наблюдаемого на выходе ПЧ, и связанного с ним квазипикового сигнала относительно опорного показания приемника
	Импульс 1	Импульс 2	Импульс 1	Импульс 2			
9	1	—	0,11	—	Минимум 21 импульс с периодичностью 10	Не является КВП	 1 с
10	–2,5	25	30	30	265	1 КВП	 1 с
11	25	−2,5[c]	190	30	1034[e]	2 КВП[d]	 2 с
12	25	−2,5[c]	190	30	1166[e]	1 КВП	 2 с

Окончание таблицы 17

[a] Испытание должно проводиться при фоновом шуме в виде импульсных сигналов с частотой повторения импульсов 200 Гц (принятого в CISPR для имитации фонового шума), уровень которых на 2,5 дБ ниже порогового уровня (квазипиковое значение). Эти импульсные сигналы должны начинаться по крайней мере за 1 с до начала испытательного импульса и продолжаться в течение не менее 1 с после его окончания.

Примечания

1 Графическая иллюстрация соответствует измерениям детектором пиковых значений измерительного приемника при очень коротком времени наблюдения (< 1 мс), которые показывают импульс с частотой повторения 200 Гц. При появлении синусоидального сигнала с импульсной модуляцией импульс 200 Гц становится невидимым (как видно на графике испытания № 3), но при кратковременной помехе он присутствует.

2 Кратковременные отклики в начале графиков объясняются несовершенством программы обработки сигналов.

[b] При подаче на вход анализатора помех импульса длительностью 1,333 с проверяется порог анализатора в отношении импульсов, которые только на 1 дБ выше порогового уровня (квазипиковое значение).

[c] Этот низкий уровень импульса 2 должен устанавливаться таким, чтобы на выходе промежуточной частоты импульс был выше порога по ПЧ, а отклик на него детектора был ниже нормы непрерывных помех (квазипиковое значение).

[d] Если эти два импульса были измерены как отдельные помехи, лишь одна кратковременная помеха должна быть зарегистрирована.

[e] Соответствующие значения для частот свыше 30 МГц находятся на рассмотрении и будут изменены после дальнейших исследований.

[f] Время нарастания импульсов должно быть не более 40 мкс.

9.3 Метод испытаний для валидации характеристик анализатора кратковременных помех

9.3.1 Основные требования

Анализатор кратковременных помех подключают к измерительному приемнику с детектором квазипиковых значений и настраивают на выбранную частоту.

На вход измерительного приемника на частоте настройки подают одновременно синусоидальный и импульсный сигналы. Для испытаний № 2 и № 3 дополнительно требуется сигнал, создаваемый генератором импульсов CISPR в соответствии с приложением B с частотой повторения импульсов 200 Гц, попадающий в полосу пропускания измерительного приемника на частоте настройки.

Источник импульсных сигналов должен обеспечить создание двух независимо изменяющихся импульсов. Время нарастания импульсов должно быть не более 40 мкс. Длительность импульса должна меняться от 110 мкс до 1,3 мс, а амплитуда должна меняться в пределах 44 дБ. Любой фоновый шум источника импульсных сигналов должен быть по крайней мере на 20 дБ ниже опорного уровня [см. 9.2, перечисление a)].

Испытания проводят следующим образом:

a) подают синусоидальный сигнал на вход измерительного приемника, используемого вместе с анализатором помех. Устанавливают амплитуду синусоидального сигнала, при которой показание прибора соответствует опорной точке (нулевому опорному уровню) на шкале индикаторного прибора измерительного приемника, что соответствует норме непрерывных помех (квазипиковое значение).

С помощью ВЧ аттенюатора измерительного приемника устанавливают уровень сигнала выше шума приемника, но ниже нормы непрерывных помех, используемой как пороговое значение в канале промежуточной частоты. Полученный уровень синусоидального сигнала на выходе промежуточной частоты измерительного приемника соответствует опорному уровню ПЧ;

b) подают импульсный сигнал на вход измерительного приемника. Для испытаний № 2 и № 3 подают дополнительный импульсный сигнал с частотой повторения 200 Гц от генератора импульсов CISPR, который должен суммироваться с импульсным сигналом. Параметры сигнала установлены в таблице 17. Значения амплитуды импульсов, указанные в таблице 17 (графа 1), устанавливают отдельно по показанию, соответствующему норме непрерывных помех (квазипиковое значение), используемому в качестве порога в канале промежуточной частоты. Значения амплитуды импульсов должны соответствовать опорным уровням на радиочастоте и промежуточной частоте, установленным в 9.2.

9.3.2 Дополнительные требования

Метод испытания должен быть аналогичен методу, изложенному в 9.3.1, перечисление a).

Параметры испытательных сигналов указаны в приложении F, таблица F.1.

Приложение А
(обязательное)

Определение импульсной характеристики измерительных приемников с детекторами квазипиковых и среднеквадратичных-средних значений (см. 3.6, 4.4.2, 7.3.2 и 7.5.1)

А.1 Общие положения

В настоящем приложении приведены сведения для численного расчета и процедуры установления импульсной характеристики. Указаны также предположения, присущие использованным методам. Расчет подразделяется на три последовательных этапа.

Примечание — Сведения о детекторе среднеквадратичных значений, приведенные в настоящем приложении, относятся к теории измерительного приемника с детектором среднеквадратичных значений и применимы к измерительному приемнику с детектором среднеквадратичных-средних значений, используемому на частотах выше частоты f_c, как это определено в разделе 7.

А.2 Импульсная характеристика каскадов, предшествующих детектору

Отклик этих каскадов на воздействие импульса определяется, как правило, исключительно каскадами усиления промежуточной частоты, от которых зависит общая избирательность измерительного приемника. Принято считать, что эта избирательность может быть обеспечена схемой из двух критически связанных настроенных трансформаторов, расположенных последовательно, с тем чтобы обеспечить желаемую ширину полосы пропускания на уровне минус 6 дБ. Для целей расчета любую другую аналогичную схему можно свести к упомянутой выше. Практическая симметрия характеристики избирательности, формируемой данной схемой, позволяет использовать для расчета огибающей импульсного отклика эквивалентный фильтр нижних частот. Ошибка, которая получается в результате этой аппроксимации, пренебрежимо мала.

Огибающую импульсного сигнала на входе фильтра записывают следующим образом:

$$A(t) = 4\omega_0 G e^{-\omega_0 t}(\sin\omega_0 t - \omega_0 t\cos\omega_0 t), \quad (A.1)$$

где G — общий коэффициент усиления на частоте настройки;

ω_0 — угловая частота, равная $\left(\pi/\sqrt{2}\right)B_6$.

Огибающая импульсного сигнала на выходе фильтра (т. е. функция отклика двух критически связанных трансформаторов на импульс площадью $\upsilon\tau$) будет равна:

$$A(t) = (\upsilon\tau)4\omega_0 G e^{-\omega_0 t}(\sin\omega_0 t - \omega_0 t\cos\omega_0 t). \quad (A.2)$$

Характеристика избирательности эквивалентного фильтра нижних частот для $\tau << 1/\omega_0$ может быть записана в виде:

$$F(f) = G[(2\omega_0{}^2)/(\omega_0 + j\omega)^2 + \omega_0{}^2]^2, \quad (A.3)$$

где $\omega = 2\pi f$.

Значения ширины полосы частот B_3 и B_6 равны:

$$B_3 = \left[\sqrt{2}\sqrt[4]{\left(\sqrt{2}-1\right)}\right]\omega_0/\pi = 0{,}361\omega_0, \quad (A.4)$$

$$B_6 = \sqrt{2}\omega_0/\pi = 0{,}450\omega_0. \quad (A.5)$$

Эффективная ширина полосы пропускания измерительного приемника, включающего в себя идеальный прямоугольный фильтр, имеющий то же среднеквадратическое значение отклика, что и реальный приемник, равна ширине полосы пропускания по мощности Δf, определяемой как:

$$\Delta f = \left(1/F_0^2\right)\int_{-\infty}^{+\infty} F^2(f)\,df, \quad (A.6)$$

где $F(f)$ — характеристика избирательности;

F_0 — максимальное значение $F(f)$ (при условии, что кривая избирательности имеет единственный максимум).

Ширина полосы пропускания по мощности при $F_0 = 1$:

$$\Delta f = \int_{-\infty}^{+\infty} F^2(f)\,df. \qquad (A.7)$$

Используя для $F(f)$ характеристику избирательности (А.2) и принимая $G = 1$, получаем:

$$\Delta f = 2\int_{0}^{+\infty}\left[2\omega_0^2 / \left(\omega_0 + j\omega\right)^2 + \omega_0^2\right]^4 df. \qquad (A.8)$$

Проведя интегрирование, находим:

$$\Delta f = 0{,}265\sqrt{2}\cdot\omega_0 = 0{,}375\omega_0. \qquad (A.9)$$

Следовательно, для B_3 имеем:

$$B_3 = 0{,}963\ \Delta f. \qquad (A.10)$$

А.3 Отклик квазипикового детектора вольтметра на выходной сигнал предшествующих каскадов

А.3.1 Общие положения

Расчет проводят, исходя из предположения, что подключение детектора к последнему каскаду промежуточной частоты не изменяет амплитуды и формы поступающего от него сигнала (т. е. считается, что выходное полное сопротивление каскада пренебрежимо мало в сравнении с входным полным сопротивлением детектора). Известно, что любой детектор может быть упрощен до одного нелинейного (реального или эквивалентного) элемента, например диода в соединении с резистором (полным прямым сопротивлением S), за которым следует схема, состоящая из конденсатора емкостью C, соединенного параллельно с разрядным резистором сопротивлением R. В такой схеме детектора постоянная времени заряда T_C связана со значением произведения SC, а постоянная времени разряда T_D — произведения RC.

Соотношение между T_C и произведением SC может быть установлено, учитывая, что в момент времени $t = T_C$ индицируемое напряжения составляет 63 % конечного установившегося значения при условии внезапной подачи радиочастотного сигнала постоянной амплитуды.

Напряжение U на конденсаторе соотносится с амплитудой A подаваемого на детектор ВЧ сигнала следующим уравнением:

$$dU / dt + U / (RC) = A\,(\sin\theta - \theta\cos\theta)/(\pi SC), \qquad (A.11)$$

где θ — фазовый угол полной проводимости ($U = A\cos\theta$).

Уравнение (А.9) не интегрируется непосредственно. Значение произведения SC, которое для выбранных постоянных времени удовлетворяет вышеприведенным условиям, определяется методами аппроксимации, например:

- в полосе частот A: $T_C = 45$ мс, $T_D = 500$ мс, $2{,}81\ SC = 1$ мс;
- в полосе частот B: $T_C = 1$ мс, $T_D = 160$ мс, $3{,}95\ SC = 1$ мс;
- в полосах частот C и D: $T_C = 1$ мс, $T_D = 550$ мс, $4{,}07\ SC = 1$ мс.

Подставляя полученные таким образом значения в уравнение (А.11), можно решить его либо для отдельного импульса, либо для повторяющихся импульсов (снова методами аппроксимации) путем введения вместо постоянной амплитуды A функции $A(t)$, задаваемой соотношениями (А.1) и (А.2).

Решение уравнения (А.11) в случае повторяющихся импульсов можно найти практически только путем произвольного выбора некоторого уровня выходного напряжения детектора в начале каждого импульса, определения приращения ΔU данного напряжения, вызванного импульсом, и затем для определения интервала, который должен быть между двумя последовательными импульсами для того, чтобы выполнялись допущенные начальные условия.

А.3.2 Отклик индикаторного прибора на сигнал детектора

Расчет проводят, исходя из предположения, что нарастание значения выходного напряжения детектора происходит мгновенно. Тогда необходимо решить следующее уравнение:

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{2}{T_M}\frac{d\alpha}{dt} + \frac{1}{T_M^2}\alpha = \frac{1}{T_M^2}\exp\left(\frac{-t}{T_D}\right), \qquad (A.12)$$

где $\alpha(t)$ — отклонение стрелки индикаторного прибора;

T_M — механическая постоянная времени индикаторного прибора с критическим демпфированием;

T_D — постоянная времени электрического разряда квазипикового детектора.

Решение уравнения (А.12) является относительно простым при двух экстремумах на кривой отклика: с одной стороны, для импульсов, достаточно разнесенных при нулевой и, следовательно, известной точке старта и, с другой стороны, для импульсов, имеющих достаточно высокую частоту повторения, при инерционности прибора, не позволяющей верно следить за флюктуациями сигнала.

Для промежуточных случаев расчет более сложен, т. к. в точке начала каждого импульса отклонение прибора меняется, и необходимо найти решение, учитывающее первоначальные положение и скорость.

А.4 Отклик детектора среднеквадратичных значений на выходное напряжение предшествующих каскадов

А.4.1 Выходное напряжение и амплитудное соотношение

По определению выходное напряжение детектора среднеквадратичных значений равно:

$$U_{rms} = \left[n \int_0^{+\infty} \left(A^2(t)/2 \right) dt \right]^{1/2}, \quad (A.13)$$

где n — частота повторения импульсов, Гц.

Выходное напряжение детектора среднеквадратичных значений U_{rms} может быть также найдено по характеристике частотной избирательности приемника $F(f)$:

$$U_{rms} = \left[n \int_{-\infty}^{+\infty} \left(2\upsilon\tau \cdot F^2(f)/2 \right) df \right]^{1/2}, \quad (A.14)$$

где $\upsilon\tau$ — площадь импульса на входе приемника.

Если входные импульсы имеют однородный частотный спектр, то приведенное выше выражение может быть преобразовано к виду:

$$U_{rms} = \sqrt{2} \cdot \upsilon\tau \cdot \sqrt{n} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} F^2(f) df \right]^{1/2}. \quad (A.15)$$

Из формулы (А.15), учитывая формулу (А.7), получаем, что

$$U_{rms} = \sqrt{2} \cdot \upsilon\tau \cdot \sqrt{n} \sqrt{\Delta f}. \quad (A.16)$$

Принимая, что U_{rms} = 2 мВ при n = 100 Гц, из уравнения (А.16) можно получить амплитудное соотношение:

$$\upsilon\tau = \left(100\sqrt{2} \right) / \sqrt{\Delta f}, \text{ мкВс}, \quad (A.17)$$

или из уравнения (А.10):

$$\upsilon\tau = 139 / \sqrt{B_3}, \text{ мкВс}. \quad (A.18)$$

А.4.2 Расчет коэффициента перегрузки

Коэффициент перегрузки при частоте повторения импульсов n, Гц, рассчитывают по формуле:

$$A(t)_{peak} / \sqrt{2} \cdot U_{rms} = 1{,}28 \left(B_3 / n \right)^{1/2}, \quad (A.19)$$

где $U_{rms} = (\upsilon\tau) \cdot (2n\Delta f)^{1/2}$ — из уравнения (А.14).

$A(t)_{peak} = 0{,}944 \cdot \upsilon\tau \cdot \omega_0$ — максимальное значение $A(t)$ при G = 1 из уравнения (А.1), (А.2).

А.5 Соотношение между показаниями измерителя квазипиковых значений и измерителя среднеквадратичных значений

Амплитудное соотношение для измерителя среднеквадратичных значений, устанавливающее значение импульса $(\upsilon\tau)_{rms}$ для частоты повторения 100 Гц (что эквивалентно синусоидальному сигналу 2 мВ), должно соответствовать уравнению (А.18):

$$(\upsilon\tau)_{rms} = 139 / \sqrt{B_3}, \text{ мкВс}.$$

Для характеристики избирательности, указанной в (А.3), это соответствует:

$$(\upsilon\tau)_{rms} = 155 / \sqrt{B_6}, \text{ мкВс},$$

если номинальная ширина полосы пропускания отсчитывается на уровне 6 дБ.

Для измерителя квазипиковых значений ширина импульса $(\upsilon\tau)_{qp}$, эквивалентная синусоидальному сигналу 2 мВ, равна:

$(\upsilon\tau)_{qp}$ = 0,316 мкВс — для полосы частот от 0,15 до 30 МГц;

$(\upsilon\tau)_{qp}$ = 0,044 мкВс — для полосы частот от 30 до 1000 МГц.

Таким образом, для измерительных приемников, имеющих характеристику избирательности в полосе пропускания в соответствии с уравнением (А.2) и ширину полосы пропускания на уровне 6 дБ, равную значениям номинальной полосы, представленным в разделах 4—7, существуют следующие соотношения для $(\upsilon\tau)_{rms}/(\upsilon\tau)_{qp}$:

$(\upsilon\tau)_{rms}/(\upsilon\tau)_{qp}$ = 14,3 дБ — для полосы частот от 0,15 до 30 МГц;

$(\upsilon\tau)_{rms}/(\upsilon\tau)_{qp}$ = 20,1 дБ — для полосы частот от 30 до 1000 МГц.

Эти соотношения справедливы для частоты повторения импульсов 100 Гц.

При других частотах повторения необходимо использовать соответствующие кривые импульсной характеристики.

Приложение В
(обязательное)

Определение спектра генератора импульсов (см. 4.4, 5.5, 6.5, 7.5)

В.1 Генератор импульсов

В.1.1 Общие положения

Для подтверждения соответствия требованиям настоящего стандарта необходим генератор импульсов. Генератор импульсов применяют при проверке соответствия измерительного приемника требованиям 4.4, 4.6, 5.5, 6.5 и 7.5. Для каждой полосы частот импульсный генератор должен обеспечивать на выходе прямоугольные импульсы с определенной площадью при заданных частотах повторения (см. таблицу В.1). Допустимые отклонения площади импульсов ± 0,5 дБ, частоты повторения — 1 %.

Таблица В.1 — Характеристики генератора импульсов

Полоса частот испытуемого приемника	Площадь импульса, мкВс	Частота повторения импульсов, Гц
От 0,09 до 0,15 мгц	13,5	1; 2; 5; 10; 25; 60; 100
От 0,15 до 30 мгц	0,316	1; 2; 10; 20; 100; 1000
От 30 до 300 мгц	0,044	1; 2; 10; 20; 100; 1000
От 300 до 1000 мгц	(см. примечание)	1; 2; 10; 20; 100; 1000
Примечание — Площадь импульсов должна обеспечить постоянный спектр, насколько это возможно, до частоты не менее 1000 МГц.		

В.1.2 Спектр генерируемых импульсов

Спектр генерируемых импульсов определяется спектральной плотностью, представляющей закон изменения эквивалентного напряжения на входе измерительной установки, имеющей постоянную ширину полосы пропускания. Спектр должен быть достаточно постоянным вплоть до верхней границы полосы частот испытуемого приемника, т. е. в пределах данной полосы изменение амплитуд спектральных составляющих должно быть не более 2 дБ относительно значений этих составляющих на нижних частотах этой полосы. Площадь импульса на частоте измерения должна быть задана с точностью ± 0,5 дБ.

Для проверки на соответствие требованиям 4.6 значение спектра свыше верхнего предела полосы частот должно ограничиваться (на удвоенной верхней частоте оно должно быть на 10 дБ ниже), с тем чтобы продукты интермодуляции всех составляющих спектра не вносили заметного вклада в результаты измерений.

В.2 Общий метод измерения

Методы определения точных значений амплитуд составляющих спектра приведены в приложении С. Если к нахождению значения спектральной плотности не предъявляется требование высокой точности, используют следующий метод.

Генератор импульсов подключают к радиочастотному входу измерительного приемника; к выходу промежуточной частоты приемника подключают осциллограф, который отображает высокочастотный импульс на выходе ПЧ.

На каждой частоте настройки приемника измеряют:

a) ширину полосы пропускания приемника на уровне минус 6 дБ (B_6, Гц);

b) среднеквадратическое значение E_0 выходного напряжения генератора синусоидальных сигналов (имеющего такое же сопротивление, что и генератор импульсов), настроенного на центральную частоту полосы пропускания приемника и создающего на осциллографе отклонение, равное по амплитуде пику высокочастотных импульсов.

Относительную амплитуду спектральной составляющей на данной частоте [спектральную плотность $S_\tau(f)$] вычисляют по формуле:

$$S_\tau(f) = E_0 / B_6.$$

Измерение повторяют для различных частот испытания в рассматриваемой полосе.

Спектр генератора импульсных сигналов задается кривой, отображающей зависимость $S_{\tau}(f)$ от частоты измерения.

Используемый измерительный приемник должен быть линейным при пиковых уровнях измеряемых сигналов.

Подавление паразитных откликов, в частности на зеркальной частоте и на ПЧ, должно быть не менее 40 дБ.

Измерения могут выполняться измерительным приемником, соответствующим техническим требованиям настоящего стандарта, имеющим квазипиковый детектор (при измерениях должно выполняться требование постоянства частоты повторения импульсов).

Приложение С
(обязательное)

Точные измерения выходного сигнала генератора наносекундных импульсов (см. 4.4, 5.5, 6.5, 7.5)

С.1 Измерение площади импульса (A_{imp})

С.1.1 Общие положения

Теоретические и практические исследования показали, что при аккуратном применении методы измерения по С.1.2—С.1.5 обладают достаточной точностью.

С.1.2 Метод измерения площади

Измеряемые импульсы проходят через узкополосный фильтр с симметричной амплитудной и асимметричной фазовой характеристиками, настроенный по центру полосы пропускания на частоту f (вместе с фильтром может быть использован усилитель, работающий на линейном участке).

Для определения площади импульса A_{imp} используют ее зависимость от огибающей выходного сигнала полосового фильтра $A(t,f)$:

$$2\left(A_{imp}\right) = S(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} A(t,f)\,dt, \qquad (C.1)$$

где $S(f)$ — спектральная плотность;

$A(t,f)$ — амплитуда огибающей единичного импульса (выраженная в единицах эквивалентного входного синусоидального напряжения).

Для настройки спектра импульса используют усилитель промежуточной частоты низкочастотного приемника или приемника для измерения помех вместе с рядом преобразователей частоты. Для измерения площади импульса выходной сигнал последнего усилителя промежуточной частоты подают непосредственно на осциллограф.

При использовании данного метода для импульсов с длительностью, намного меньшей периода частоты f, площадь импульса допускается измерять непосредственно как интегрированную площадь с помощью соответствующего осциллографа (например, для наносекундных импульсов требуется стробоскопический осциллограф), при этом интегрирование учитывает знак различных частей площади.

С.1.3 Метод стандартной линии передачи

Линия передачи, длина которой соответствует времени распространения τ с напряжением V_0 разряжается через сопротивление нагрузки, равное характеристическому сопротивлению линии.

Считается, что линия передачи состоит из фактической линии, а также из зарядного участка линии, заключенного в корпусе переключателя. Установлено, что спектральная плотность $S(f)$ имеет значение $2\upsilon\tau$ в низкочастотной области спектра результирующего импульса, где амплитуда не меняется в зависимости от частоты, причем эта амплитуда не зависит от существования паразитных сопротивлений между линией и нагрузочным резистором (например, индуктивным или активным сопротивлением) или от конечного времени коммутации.

С.1.4 Измерение гармоник

Данный метод допускается использовать для импульсных генераторов, создающих последовательность импульсов с довольно высокой и устойчивой частотой повторения.

Когда частота повторения импульсов F превышает значение ширины полосы измерительного приемника, последний может выделить одну линию из спектра импульса. В этом случае площадь импульса IS можно определить как:

$$A_{imp} = V_K / 2F = V\sqrt{2} / 2F, \qquad (C.2)$$

где $V_K = V\sqrt{2}$ — пиковое значение k-гармоники.

Далее импульсный генератор можно использовать для калибровки импульсной характеристики измерительного приемника с широкой полосой пропускания, в которую на уровне 6 дБ попадает большое число гармонических составляющих (приблизительно 10 или более).

С.1.5 Метод измерения мощности

При использовании этого метода сравнивают мощность, создаваемую тепловым источником (резистором) с мощностью, создаваемой генератором импульсов. Однако точность, получаемая в данном методе, несколько ниже по сравнению с точностью приведенных выше методов. Данный метод может быть полезен на частотах вблизи 1000 МГц.

С.2 Требования к спектру генератора импульсов

С.2.1 Для определения соответствия требованиям 4.4.1, 5.5, 6.5.2 и 7.5.2 площадь импульса должна быть задана с ошибкой не более ± 0,5 дБ.

С.2.2 Частота повторения импульсов должна быть задана с ошибкой не более 1 %.

С.2.3 Для определения соответствия требованиям 4.4.2, 5.5, 6.5.4 и 7.5.3 площадь импульсов не должна зависеть от их частоты повторения.

С.2.4 Для определения соответствия требованиям 4.4, 5.5, 6.5 и 7.5 частотный спектр генератора должен быть однородным в полосе пропускания измерительного приемника. Считается, что это требование выполняется:

a) если изменение частотного спектра линейно относительно частоты в пределах частотной полосы пропускания измерительного приемника, а неравномерность спектра не превышает 0,5 дБ в пределах полосы пропускания приемника, измеренной на уровне минус 6 дБ;

b) если частотный спектр имеет плавные спады по обеим сторонам от частоты настройки измерительного приемника и если ширина спектра в точках минус 6 дБ по крайней мере в пять раз превышает ширину полосы пропускания приемника на этом уровне.

В обоих случаях предполагается, что площадь импульса равна значению его уровня на частоте настройки.

Приложение D
(обязательное)

Влияние характеристик измерительного приемника с квазипиковым детектором на его импульсную характеристику (см. 4.4.2)

При больших значениях частоты повторения импульсов существенное влияние на уровень кривой импульсной характеристики оказывает ширина полосы пропускания.

Для низких значений частоты повторения более важную роль играют постоянные времени. Относительно этих постоянных времени допуски в настоящем стандарте не установлены, но в качестве рекомендации можно считать приемлемым значение 20 %.

Кроме того, на очень низких частотах повторения наиболее заметным будет отсутствие перегрузки. Значения коэффициентов перегрузки должны быть такими, чтобы обеспечить точное измерение одиночного импульса при рекомендованных постоянных времени и ширине полосы пропускания.

Исследование импульсной характеристики на двух крайних участках диапазона измерений индикаторного прибора гарантирует проверку возможного нелинейного поведения детектора. В этом смысле наиболее критичными частотами повторения, вероятнее всего, будут частоты вблизи (20—100) Гц.

Приложение Е
(обязательное)

Импульсная характеристика измерительных приемников с детекторами пиковых и средних значений (см. 6.3.1)

Е.1 Импульсная характеристика каскадов, предшествующих детектору

В [19] и [20] показано, что площадь под огибающей выходного сигнала узкополосной схемы, которая имеет симметричную частотную характеристику и на вход которой подаются прямоугольные импульсы, не зависит от ширины полосы пропускания и задается формулой:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} A(t)dt = 2\upsilon\tau G_0, \qquad (E.1)$$

где υ и τ — амплитуда и длительность прямоугольного импульса, соответственно, для которого $B_{imp}\tau << 1$ (G_0 — коэффициент усиления схемы на центральной частоте).

Данное утверждение справедливо только в случае неосциллирующей огибающей. Осциллирующая (колебательная) огибающая присуща контурам с двойной настройкой и, если не используется чувствительный фазовый детектор, может понадобиться произвести компенсацию ошибки путем введения значения, вносимого осциллирующей огибающей. В случае критической связи второй пик огибающей составляет приблизительно 8,3 % первого.

Примечание — Отклик каскадов, предшествующих детектору, как указано в разделе А.2, носит колебательный характер. Следовательно, погрешность калибровки, вносимую осциллирующим откликом, следует компенсировать допуском с постоянным смещением (плюс 2,5 — минус 0,5) дБ (как указано в 6.5.2).

Если импульсы на выходе усилителя промежуточной частоты не перекрываются, среднее значение их площади пропорционально частоте повторения импульсов n. Как следствие, среднее значение напряжения равно $2\upsilon\tau G_0 n$.

Исходя из уравнения (Е.1), определение эффективной ширины полосы для измерительных приемников с детектором средних значений не считается целесообразным.

Е.2 Коэффициент перегрузки

Для расчета коэффициента перегрузки при использовании измерительного приемника с детектором пиковых значений полезно определить величину, известную как «эффективная ширина импульсной полосы пропускания каскадов, предшествующих детектору B_{imp}" по формуле:

$$B_{imp} = A(t)_{max}/2G_0, \qquad (E.2)$$

где $A(t)_{max}$ — выходной сигнал (с пиковой огибающей) каскадов усиления промежуточной частоты при подаче единичного импульса.

Из уравнений, приводящих к формуле (А.19) (приложение А), имеем:

$$B_{imp} = (0{,}944/2)\omega_0 = 1{,}05\ B_6 \text{ или } 1{,}31\ B_3, \qquad (E.3)$$

где B_6 и B_3 определены в 3.6.

Для других типов настраиваемых схем отношение B_{imp} к B_6 можно оценивать из рисунка Е.1, если известно отношение B_{20} к B_3, где B_{20} — ширина полосы на уровне 20 дБ.

Е.3 Соотношение между показаниями измерительных приемников с детекторами средних и квазипиковых значений

Значение площади импульса, необходимое для создания такого же показания измерительного приемника с детектором средних значений, как и показания при подаче на его вход немодулированного синусоидального сигнала на частоте настройки со среднеквадратичным значением 2 мВ от генератора, имеющего то же выходное сопротивление, что и генератор импульсов, при частоте повторения импульсов n, Гц, равно:

$$\upsilon\tau = 1{,}4/n, \text{ мВс}. \qquad (E.4)$$

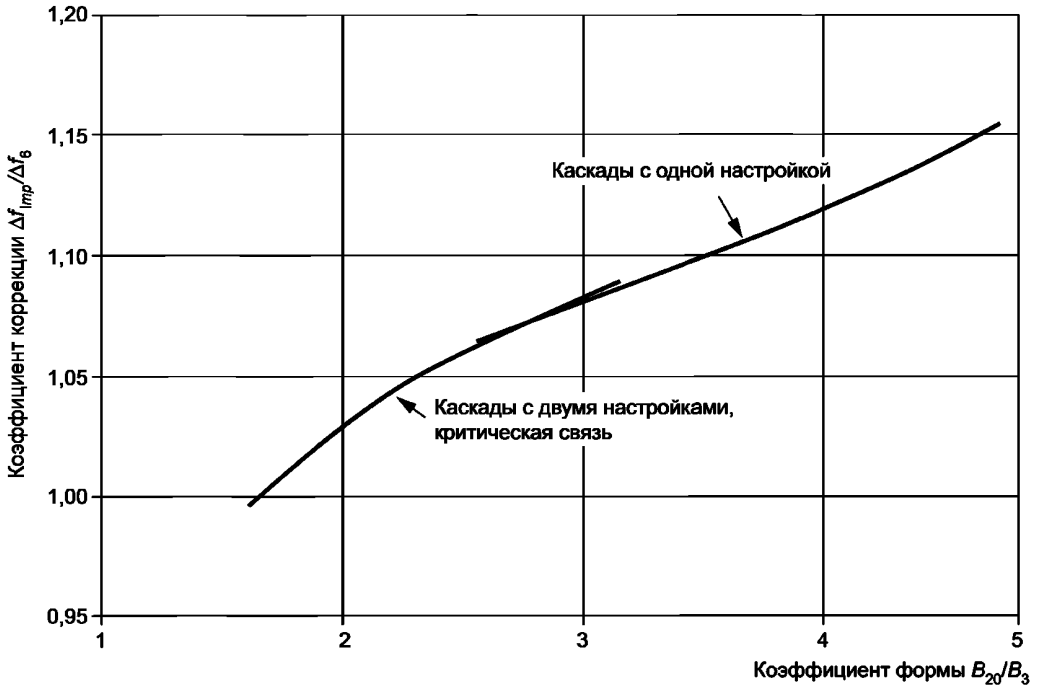


Рисунок Е.1 — Коэффициент коррекции для оценки отношения B_{imp}/B_6 для других типов настраиваемых каскадов

При частоте повторения 100 Гц это значение составляет 14 мкВс.

Тогда с учетом приложения А, пункт А.5, отношение $(\upsilon\tau)_{ave}$ к $(\upsilon\tau)_{qp}$ для получения одного и того же показания будет равно:

$(\upsilon\tau)_{ave}/(\upsilon\tau)_{qp}$ = 32,9 дБ — для полосы частот от 0,15 до 30 МГц;

$(\upsilon\tau)_{ave}/(\upsilon\tau)_{qp}$ = 50,1 дБ — для полосы частот от 30 до 1000 МГц.

Вышеизложенное предполагает наличие требуемого коэффициента перегрузки при рассматриваемой частоте повторения и соответствие ширины полосы пропускания значениям, указанным в разделе 4.

При частоте повторения 1000 Гц соответствующие отношения будут 17,4 и 38,1 дБ.

Е.4 Измерительные приемники с детектором пиковых значений

Если в приемнике используется измерительное устройство с непосредственным считыванием, требование к постоянным времени можно определить по кривой, приведенной на рисунке Е.2, на котором представлено процентное соотношение показания, отнесенного к реальному пиковому значению в зависимости от параметра, и в котором учтены коэффициент постоянных времени, ширина полосы B_6 и частота повторения импульсов. При использовании этой кривой необходимо иметь в виду, что

$$R_C/R_D = (1/4)(T_C/T_D), \quad (E.5)$$

где T_C и T_D — постоянные времени заряда и разряда.

Например, при желании получить показание измерительного приемника не менее 90 % реального пикового значения при частоте повторения 1 Гц необходимо иметь следующие соотношения постоянной времени разряда и постоянной времени заряда:

$1{,}25 \cdot 10^6$ — в полосе частот от 0,15 до 30 МГц;

$1{,}67 \cdot 10^7$ — в полосе частот от 30 до 1000 МГц.

Е.5 Соотношение между показаниями измерительных приемников с детекторами пиковых и квазипиковых значений

Значение площади импульса A_{imp}, необходимое для получения показания измерительного приемника с пиковым детектором, такого же как при воздействии немодулированного синусоидального сигнала на частоте настройки со среднеквадратичным значением 2 мВ, равно:

$$1{,}4/B_{imp} \text{ (мВс)}, \quad (E.6)$$

где значение B_{imp} выражают в герцах.

В полосах частот на уровне 6 дБ, указанных в таблице Н.1, значения B_{imp} равны 1,05 B_6 (см. Е.2). Эти значения и соответствующие значения A_{imp}, необходимые для пиковой индикации, приведены в таблица Е.1.

Таблица Е.1 — Значения B_{imp} и A_{imp} для измерительного приемника с пиковым детектором

Частота	$A_{imp,peak}$, мВс	B_{imp}, Гц
Полоса частот А	$6{,}67 \cdot 10^{-3}$	$0{,}21 \cdot 10^{3}$
Полоса частот В	$0{,}148 \cdot 10^{-3}$	$9{,}45 \cdot 10^{3}$
Полосы частот С и D	$0{,}011 \cdot 10^{-3}$	$126 \cdot 10^{3}$

Тогда, используя значения *a*, приведенные в таблице 1, для квазипикового значения $A_{imp,qp}$ получим, что отношение $A_{imp,qp}$ в квазипиковых значениях к $A_{imp,peak}$ в пиковых значениях для получения того же показания будет:

- для полосы частот А: 6,1 дБ (при частоте повторения импульсов 25 Гц);
- для полосы частот В: 6,6 дБ (при частоте повторения импульсов 100 Гц);
- для полос частот С и D: 12,0 дБ (при частоте повторения импульсов 1000 Гц).

Е.6 Параметры испытательных импульсов для полосы частот Е (1—18 ГГц)

Генераторов прямоугольных импульсов, имеющих равномерную спектральную плотность во всей полосе частот Е (до частоты 18 ГГц), не существует. В связи с этим при измерении импульсных характеристик измерительных приемников в полосе частот Е используют импульсно-модулированную несущую частотой, равной частоте настройки приемника. Длительность импульса должна быть не более 1/3 B_{imp}; ее значение устанавливают с максимальной точностью для того, чтобы избежать недопустимо высокой погрешности устанавливаемого значения площади испытательных импульсов. Помимо традиционного измерения длительности импульса с помощью осциллографа ее значение можно находить по расстоянию между минимумами спектральной плотности (см. рисунок Е.3).

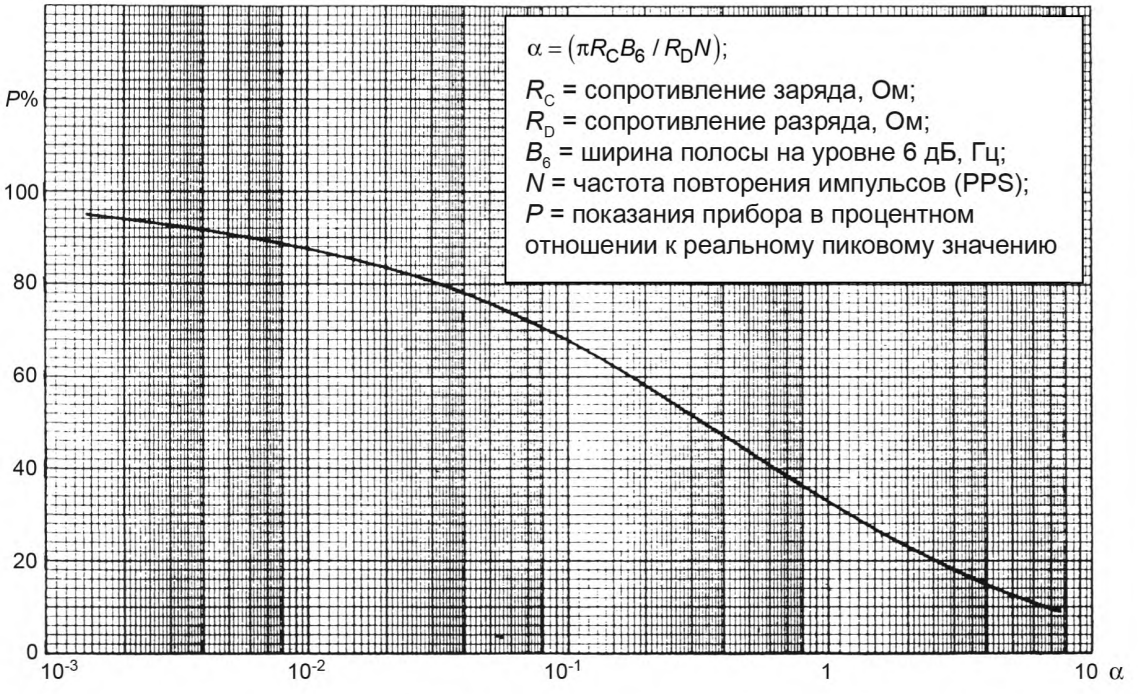


Рисунок Е.2 — Коэффициент выпрямления импульсов *P*
(показания прибора в процентном отношении к реальному пиковому значению)

Для измерительного приемника с детектором пиковых значений и шириной полосы B_{imp}, равной 1 МГц, площадь импульса $1{,}4/B_{imp}$, мВс, ЭДС, обеспечивающего показание, идентичное показанию при воздействии немодулированного синусоидального сигнала на частоте настройки со среднеквадратичным значением ЭДС 2 мВ [66 дБ (мкВ)], будет, следовательно, 1,4 нВс. В таблице Е.2 показано, что требуемая площадь импульса может быть обеспечена при различной длительности импульса.

Таблица Е.2 — Параметры испытательного импульса площадью 1,4 нВс

Длительность импульса w_p, нс	Уровень несущей (ЭДС) $L_{carrier}$, дБ (мкВ)
100	86
200	80

Для измерительного приемника с линейным детектором средних значений площадь импульса 1,4/*n*, мВс, где *n* — частота повторения импульсов, *n* = 50000, обеспечивающего показание, идентичное показанию при воздействии немодулированного синусоидального сигнала на частоте настройки со среднеквадратичным значением ЭДС 2 мВ [66 дБ (мкВ)], будет 28 нВс, т. е. на 26 дБ больше, чем для измерительного приемника с детектором пиковых значений при B_{imp}, равной 1 МГц.

Для измерительного приемника с детектором среднеквадратичных значений площадь импульса, обеспечивающего показание, идентичное показанию при воздействии немодулированного синусоидального сигнала на частоте настройки со среднеквадратичным значением ЭДС 2 мВ [66 дБ (мкВ)], будет $44(B_3^{-1/2})$ мкВс при частоте повторения импульсов 1 кГц. При ширине импульсной полосы пропускания B_{imp}, равной 1 МГц, соответствующее значение B_3 равно 700 кГц. Следовательно, необходимая площадь импульса будет равна 52,6 нВс, т. е. на 31,5 дБ больше, чем для измерительного приемника с пиковым детектором при B_{imp}, равной 1 МГц.

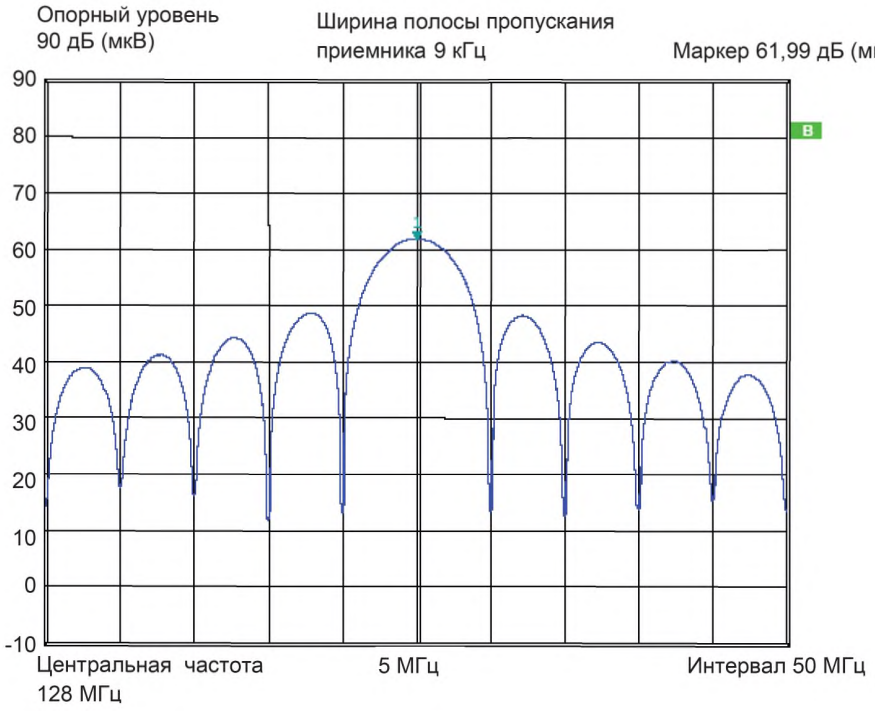


Рисунок Е.3 — Спектрограмма импульсно-модулированного сигнала при ширине импульсов 200 мс

Е.7 Измерение ширины импульсной полосы пропускания B_{imp}

Е.7.1 Общие положения

Ширину импульсной полосы пропускания измерительного приемника B_{imp}, МГц, определяют по формуле:

$$B_{imp} = U_p/D. \quad (E.7)$$

Если пиковое значение U_p измеряют в мкВ, а спектральную плотность испытательного импульса *D* в мкВ/МГц, то B_{imp} выражается в МГц.

Обе величины U_p и *D* принято калибровать в среднеквадратичных значениях немодулированного синусоидального сигнала измерительных приемников CISPR.

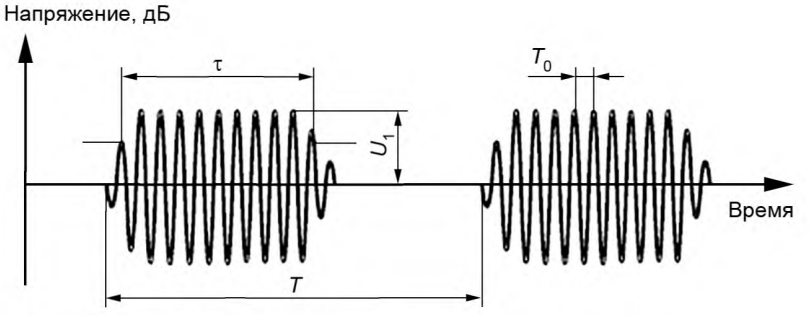
Часто точное значение спектральной плотности импульса неизвестно. В этом случае появляется неопределенность в нахождении ширины B_{imp}. Для уменьшения этой неопределенности могут быть использованы методы, приведенные ниже.

В методах 1 и 2 для уменьшения неопределенности проводят не одно, а два измерения. В методе 3 для расчета значения B_{imp} используют кривую избирательности, т. к. B_{imp} является «шириной полосы напряжения» измерительного приемника (не следует путать с шириной полосы мощности или эквивалентной шириной полосы шума, которые определяют среднеквадратичное значение гауссовского шума при использовании приемника с детектором среднеквадратичных значений). B_{imp} определяется кривой избирательности фильтра промежуточной частоты, фазовой характеристикой фильтра (возможно, нелинейной) и полосой видосигнала приемника.

Ширина полосы напряжения B_{imp} шире B_6, но коэффициента для определения соотношения между B_{imp} и B_6 (или B_3) в общем случае не существует.

Е.7.2 Метод 1: Определение B_{imp} по откликам на два импульса с идентичными амплитудами и длительностями, но с низкой и высокой частотами повторения

При данном методе используют импульсно-модулированный радиочастотный сигнал при небольших длительностях импульсов (см. рисунок Е.4). Определение значения B_{imp} в данном методе строится на сравнении откликов на импульсы с высокой ($f_p >> B_{imp}$) и низкой ($f_p << B_{imp}$) частотами повторения.



τ — ширина импульса (на уровне 50 % U_1); $f_p = 1/T$ — частота повторения импульсов;
$f_0 = 1/T_0$ — частота несущей сигнала

Рисунок Е.4 — Импульсно-модулированный ВЧ-сигнал, подаваемый на приемник

При высокой частоте повторения приемник можно настроить на частоту несущей, как показано на рисунке Е.5, а при низкой частоте повторения спектр будет иметь широкополосный вид, как показано на рисунке Е.6, со спектральной плотностью импульсов $D = U_1 \cdot \tau$. Форма импульсов, т. е. амплитуда U_1 и длительность τ, не должны зависеть от частоты повторения импульсов. При B_{imp} = 1 МГц значение f_{p1} допускается выбирать равным 30 МГц, а f_{p2} — равным 30 кГц.

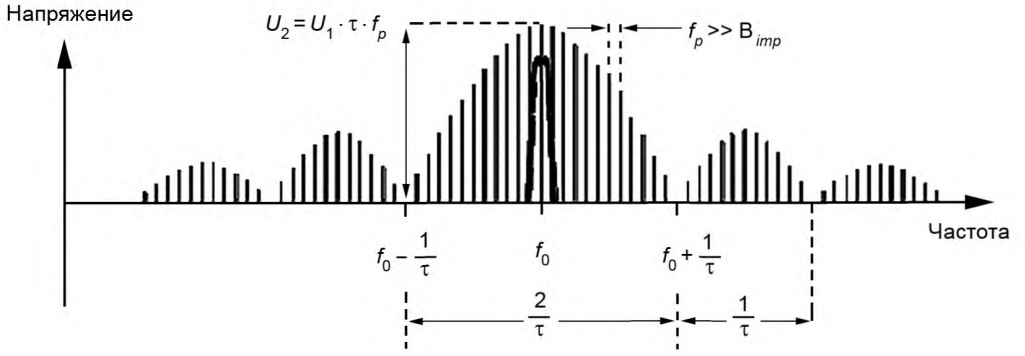


Рисунок Е.5 — Фильтрация, когда B_{imp} намного меньше частоты повторения импульсов

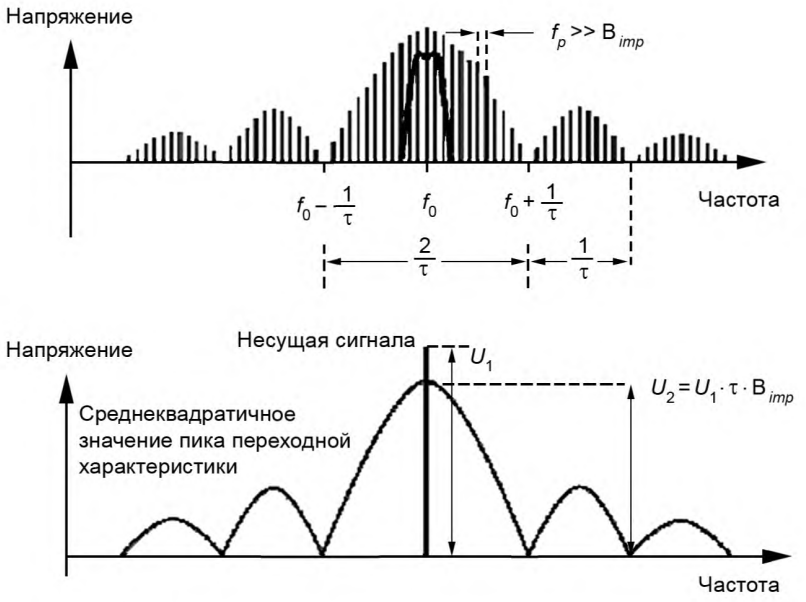


Рисунок Е.6 — Фильтрация, когда значение B_{imp} намного больше частоты повторения импульсов

При первом измерении (в случае $f_p >> B_{imp}$) можно ожидать, что амплитуда U_2 в среднеквадратичных значениях будет равна $U_2 = U_1 \cdot \tau \cdot f_{p1}$. Снизить неопределенность измерения можно, увеличив отношение «сигнал — шум» и обеспечив отсутствие перегрузки. Во втором измерении (в случае $f_p << B_{imp}$) можно ожидать, что максимальный отклик в среднеквадратичных значениях пика переходного процесса будет $U_p = U_1 \cdot \tau \cdot B_{imp}$.

Если произведение $U_1 \cdot \tau$ при обоих измерениях одинаковое, то B_{imp} по результатам двух измерений (см. также рисунок Е.7) определяется как

$$B_{imp} = f_{p1} \cdot U_p / U_2 . \qquad (E.8)$$

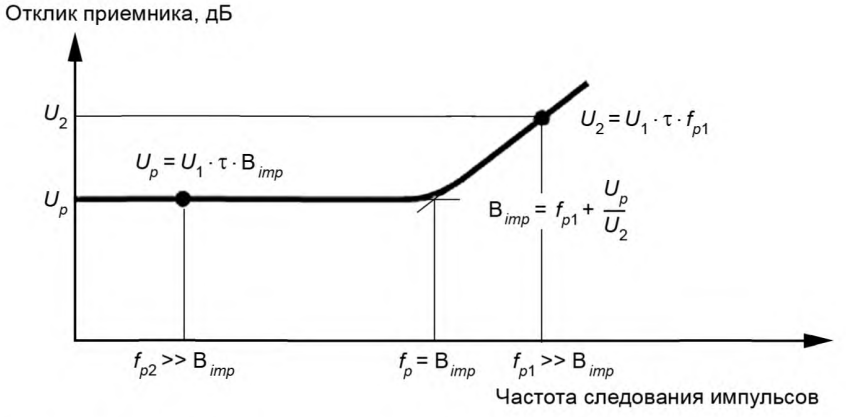


Рисунок Е.7 — Расчет ширины импульсной полосы пропускания приемника

Е.7.3 Метод 2: Определение B_{imp} путем сравнения откликов на импульсный сигнал испытуемого и вспомогательного фильтров

В случае отсутствия генератора импульсов, имеющего независимую от частоты повторения импульсов амплитуду и при относительно низких значениях этой частоты, допускается применять метод 2.

Метод базируется на том же принципе, что и метод 1, однако вместо изменения частоты повторения импульсов при втором измерении в этом методе проводится замена испытуемого фильтра на вспомогательный фильтр, ширина полосы которого намного меньше частоты повторения импульсов.

Спектральную плотность импульсов D по данному методу определяют как

$$D = U_k / f_p,$$

где U_k — измеренное напряжение спектральной линии (например, частоты несущей, если сигнал представляет собой импульсно-модулированную несущую, или центральной линии при частоте приемника, на которой следует измерять B_{imp});

f_p — частота повторения импульсов. Значение f_p должно быть намного больше самой узкой полосы и намного меньше подлежащей измерению полосы B_{imp}, т. е. $B_{narrow} << f_p << B_{imp}$ (примерные значения для B_{imp} = 1МГц, B_{narrow} = 9 кГц и f_p = 100 кГц).

Суть метода состоит в сравнении откликов узкополосного фильтра и испытуемого фильтра на немодулированный синусоидальный сигнал, поступающий на оба фильтра, и получении коэффициента коррекции c для расчета значения D ($c = U_1/U_2$, где U_1 — значение при узкополосном фильтре, а U_2 — при широкополосном).

При известном коэффициенте коррекции спектральную плотность можно найти как $D = c \cdot U_k/f_p$. Когда значение D определено, измеряют значение U_p при пиковом детекторе и с помощью соотношения (Е.2) рассчитывают значение B_{imp}.

Е.7.4 Метод 3. Определение B_{imp} интегрированием нормализованной линейной функции избирательности

Преимуществом данного метода является высокая точность. Метод применяется при использовании фильтров с линейной функцией избирательности (например, цифровых или изготовленных в соответствии с требованиями призводителя) при условии, что ширина полосы видеосигнала в 10 или более раз превышает ширину импульсной полосы пропускания B_{imp}, т. е. ($B_{video} >> B_{imp}$).

В этом случае импульсную ширину полосы измерительного приемника определяют как площадь нормализованной линейной функции избирательности $U(f)$ при коэффициенте нормализации $1/U_{max}$:

$$B_{imp} = \frac{1}{U_{max}} \int_{-\infty}^{+\infty} U(f)df, \qquad (E.9)$$

где U_{max} — максимальное значение $U(f)$.

Измерительные приемники с цифровым отображением и высокой разрешающей способностью для измерения функции избирательности $U(f_n)$ можно настроить на N шагов Δf. Для корректного определения ширины импульсной полосы пропускания B_{imp} измерения проводят на 100 частотах (N = 101), взятых с равномерным шагом Δf в пределах уровней до 60 дБ.

Настраиваемые измерительные приемники можно настроить так, чтобы начальная и конечная частоты совпали с точками 60 дБ кривой фильтра, а развертка позволяла получить значение амплитуды. Уровень подаваемого на вход фильтра испытательного синусоидального сигнал должен позволять отследить форму частотной характеристики испытуемого фильтра.

Значение B_{imp} находят по формуле:

$$B_{imp} = \frac{1}{U_{max}} \sum_{n=1}^{N} \left(U(f_n) + U(f_{n+1})\right) \frac{\Delta f}{2}. \qquad (E.10)$$

Пример нормализованной линейной функции избирательности 1 МГц приведен на рисунке Е.8.

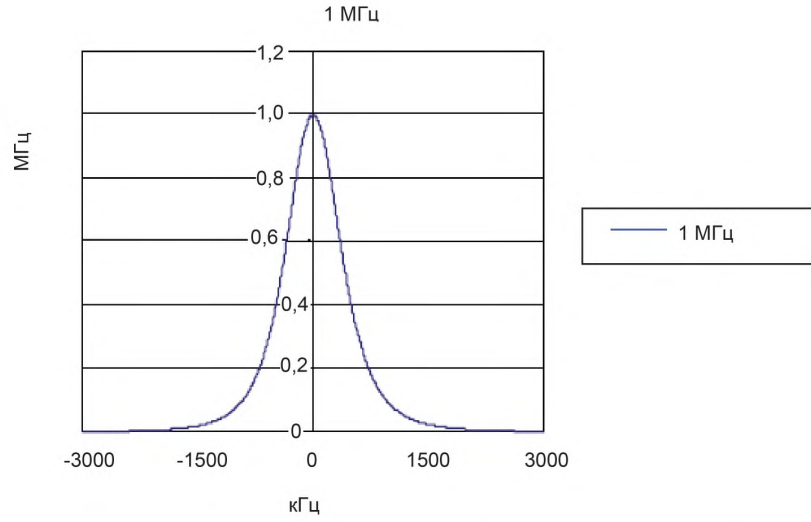


Рисунок Е.8 — Пример нормализованной линейной функции избирательности

Приложение F
(обязательное)

Проверка характеристик исключений из определения кратковременных помех в соответствии с 4.2.3 CISPR 14-1:2005

С учетом исключений, приведенных в 4.2.3 CISPR 14-1:2005, анализатор помех должен фиксировать следующую дополнительную информацию:

a) число кратковременных помех длительностью не более 10 мс;

b) число кратковременных помех длительностью более 10 мс, но не более 20 мс включительно;

c) число кратковременных помех длительностью более 20 мс, но не более 200 мс включительно;

d) длительность каждой зарегистрированной помехи, амплитуда которой превышает норму непрерывных помех в квазипиковых значениях;

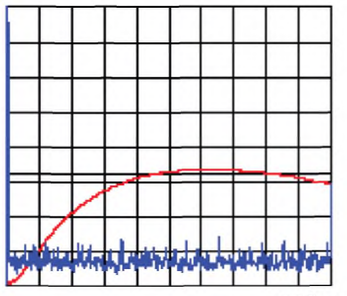
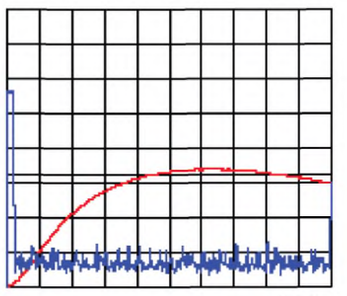
e) сообщение, что испытуемое оборудование не прошло испытание на кратковременные помехи, если результаты измерений показывают, что создаваемые помехи не являются кратковременными (не соответствуют определению кратковременной помехи) и не подпадают под действие какого-либо из исключений;

f) временной интервал от начала испытания до появления помехи;

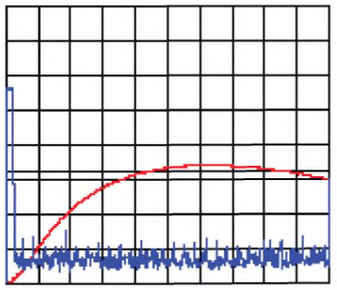
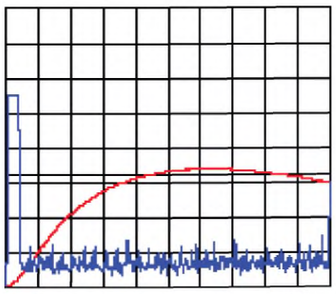
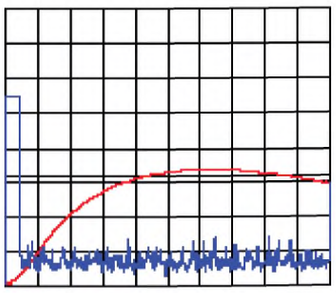
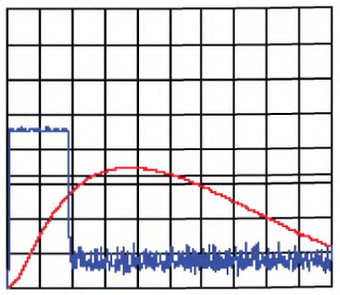
g) суммарную длительность помех, превышающих норму непрерывных помех в квазипиковых значениях, но не относящихся к кратковременным помехам;

h) частоту кратковременных помех.

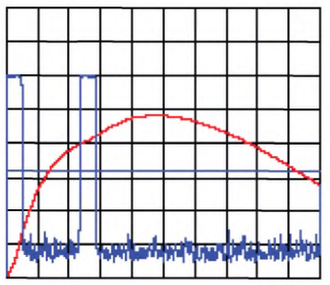
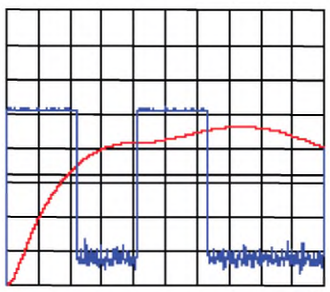
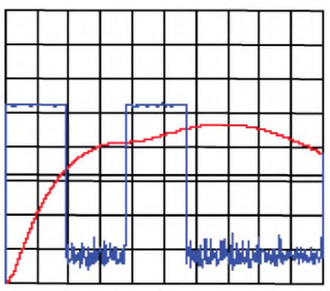
Таблица F.1 — Испытательные сигналы анализатора помех[a)]

Номер испытания	Параметр испытательного сигнала						
	1		2		3	4	5
	Квазипиковое значение амплитуды импульсов, измеренное относительно квазипикового опорного показания приемника, дБ		Длительность импульсов[b)], измеренных на выходе ПЧ измерительного приемника, мс		Длительность интервала между импульсами или периодичность (выход ПЧ), мс	Оценка помехи анализатором помех	Графическое представление испытательного сигнала, наблюдаемого на выходе ПЧ, и связанного с ним квазипикового сигнала относительно опорного показания приемника
	Импульс 1	Импульс 2	Импульс 1	Импульс 2			
1	1	—	0,11	—	—	1 КВП ≤ 10 мс	 500 мс
2	1	—	9,5	—	—	1 КВП ≤ 10 мс	 500 мс

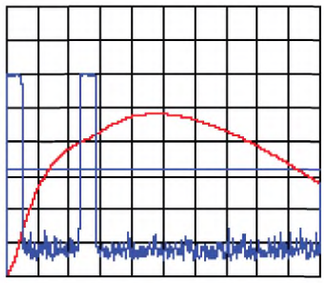
Продолжение таблицы F.1

Номер испытания	Параметр испытательного сигнала						
	1		2		3	4	5
	Квазипиковое значение амплитуды импульсов, измеренное относительно квазипикового опорного показания приемника, дБ		Длительность импульсов[b)], измеренных на выходе ПЧ измерительного приемника, мс		Длительность интервала между импульсами или периодичность (выход ПЧ), мс	Оценка помехи анализатором помех	Графическое представление испытательного сигнала, наблюдаемого на выходе ПЧ, и связанного с ним квазипикового сигнала относительно опорного показания приемника
	Импульс 1	Импульс 2	Импульс 1	Импульс 2			
3	1	—	10,5	—	—	10 мс < 1 КВП ≤ 20 мс	 500 мс
4	1	—	19	—	—	10 мс < 1 КВП ≤ 20 мс	 500 мс
5	1	—	21	—	—	1 КВП > 20 мс	 500 мс
6	1	—	190	—	—	1 КВП > 20 мс	 1 с

Продолжение таблицы F.1

Номер испытания	Параметр испытательного сигнала						
	1		2		3	4	5
	Квазипиковое значение амплитуды импульсов, измеренное относительно квазипикового опорного показания приемника, дБ		Длительность импульсов[b)], измеренных на выходе ПЧ измерительного приемника, мс		Длительность интервала между импульсами или периодичность (выход ПЧ), мс	Оценка помехи анализатором помех	Графическое представление испытательного сигнала, наблюдаемого на выходе ПЧ, и связанного с ним квазипикового сигнала относительно опорного показания приемника
	Импульс 1	Импульс 2	Импульс 1	Импульс 2			
7	5	5	210	210	150	1 КВП > 20 мс, если сигнал появляется только один раз за цикл программы или за минимальное время наблюдения (см. примечание 1, E2, «правило 600 мс»). В ином случае — непрерывная помеха (570 мс)	 1c
8	5	5	220	220	190	Непрерывная помеха (см. примечание 1, E2: никакое исключение не применимо, т. к. полная длительность 630 мс (> 600 мс). Вывод: «оборудование не проходит испытания»	 1c
9	5	5	190	190	190	Если частота повторения КВП менее 5, считают 2 КВП > 20 мс (см. примечание 1, E4; см. также примечание 3) В ином случае 1 КВП > 20 мс, если сигнал появляется только один раз за цикл программы или за минимальное время наблюдения (см. примечание 1, E2). В противном случае непрерывная помеха (570 мс). Вывод: «Оборудование не проходит испытания»	 1c

Продолжение таблицы F.1

Номер испытания	Параметр испытательного сигнала						
	1		2		3	4	5
	Квазипиковое значение амплитуды импульсов, измеренное относительно квазипикового опорного показания приемника, дБ		Длительность импульсов[b)], измеренных на выходе ПЧ измерительного приемника, мс		Длительность интервала между импульсами или периодичность (выход ПЧ), мс	Оценка помехи анализатором помех	Графическое представление испытательного сигнала, наблюдаемого на выходе ПЧ, и связанного с ним квазипикового сигнала относительно опорного показания приемника
	Импульс 1	Импульс 2	Импульс 1	Импульс 2			
10	5	5	50	50	185	Если конечная частота КВП менее 5, считают 2 КВП > 20 мс (см. примечание 1, E4; см. также примечание 3)  1c В ином случае, если сигнал появляется не более одного раза за цикл программы или за минимальное время наблюдения, считают 1 КВП < 600 мс (см. примечание 1, E2, 2 · 285 мс > 20 мс). В противном случае непрерывная помеха (285 мс). Вывод: «Оборудование не проходит испытания»	
11	20	20	15	5	1 импульс 1 + 9 импульсов 2, повторяются до регистрации 40 КВП при расстоянии между каждым импульсом 13 с	36 КВП < 10 мс; 20 мс ≥ 4 КВП > 10 мс; более 90 % КВП < 10 мс. Вывод: «Оборудование проходит испытания» (см. примечание 1, E3; см. также примечание 4; измерение амплитуд КВП не требуется)	
12	20	20	15	5	1 импульс 1 + 8 импульсов 2, повторяются до регистрации 40 КВП при расстоянии между каждым импульсом 13 с	35 КВП < 10 мс; 20 мс ≥ 5 КВП > 10 мс; менее 90 % КВП < 10 мс (см. примечание 1, E3; см. также примечание 4). Исключение не применяется. После применения метода верхнего квартиля итоговым результатом будет вывод: «Оборудование не проходит испытания», т. к. амплитуды КВП слишком велики	

Окончание таблицы F.1

В CISPR 14-1:2005, пункт 4.2.3, установлены следующие исключения:

- E1 — «отдельные операции коммутации»

Применить данное исключение может только оператор; оно не может быть оценено автоматически анализатором помех. Данное исключение учтено в настоящем разделе, для того чтобы избежать путаницы с проставлением номеров исключений для пользователей настоящего стандарта и CISPR 14-1;

- E2 — «комбинация кратковременных помех во временно́м интервале менее 600 мс» («правило 600 мс»)

В испытуемом оборудовании с программным управлением комбинация КВП во временном интервале менее 600 мс допускается один раз за выбранный цикл программы. Для других образцов испытуемого оборудования такая комбинация КВП допускается один раз за минимальное время наблюдения. Это также относится к трехфазным коммутаторам с термостатическим управлением, создающим три помехи в каждой из трех фаз соответственно и нейтральном проводе. Комбинация КВП рассматривается как 1 КВП;

- E3 — «мгновенная коммутация»

Оборудование, создающее помехи, отвечающие условиям:

- частота повторения КВП не более 5;
- ни одна из создаваемых КВП не имеет длительность более 20 мс;
- 90 % создаваемых КВП имеют длительность менее 10 мс, должно считаться прошедшими испытания (соответствующим нормам) независимо от амплитуды КВП. Если одно из трех условий не выполнено, применяют нормы непрерывных ИРП;

- E4 — «разделение КВП длительностью менее 200 мс» (правило холодильника)

Для оборудования, у которого частота КВП менее 5, любые две помехи, каждая из которых имеет максимальную длительность 200 мс, должны расцениваться как 2 КВП, даже если интервал времени между помехами менее 200 мс. В этом случае, например для помех от холодильников, такие помехи должны расцениваться как две КВП, а не как непрерывная помеха.

Примечания

1 Анализатор должен применять исключение E2 том случае, если неприменимо исключение E4.

2 Проверочные сигналы 11 и 12 применяются только в случае, если можно применить исключение E3, т. к. следующий расчет показывает, что включая КВП при «0» секунд для проверочных сигналов 11 и 12 требуемые 40 КВП будут отсчитываться после 13 с • 39 = 507 с, т. е. 8,45 мин. Частота КВП составляет 40/8,45 = 4,734 (менее 5, как и требуется — здесь все зависит от того, длительность 90 % КВП менее 10 мс или нет).

3 Ослабление нормы для КВП в соответствии с CISPR 14-1 равно 20 lg (30/4,734) = 16,04 дБ. Следовательно, при проверочных сигналах 11 и 12 (амплитуда на 20 дБ превышает норму) испытуемое оборудование не проходит проверку по методу верхнего квартиля (допускающего, что не более 25 % КВП могут превысить норму кратковременных помех) в соответствии с CISPR 14-1:2005.

[a] Испытательные сигналы, используемые для проверки функционирования с учетом исключений из определения кратковременной помехи в соответствии с 4.2.3 CISPR 14-1:2005.

[b] Время нарастания импульсов должно быть не более 40 мкс.

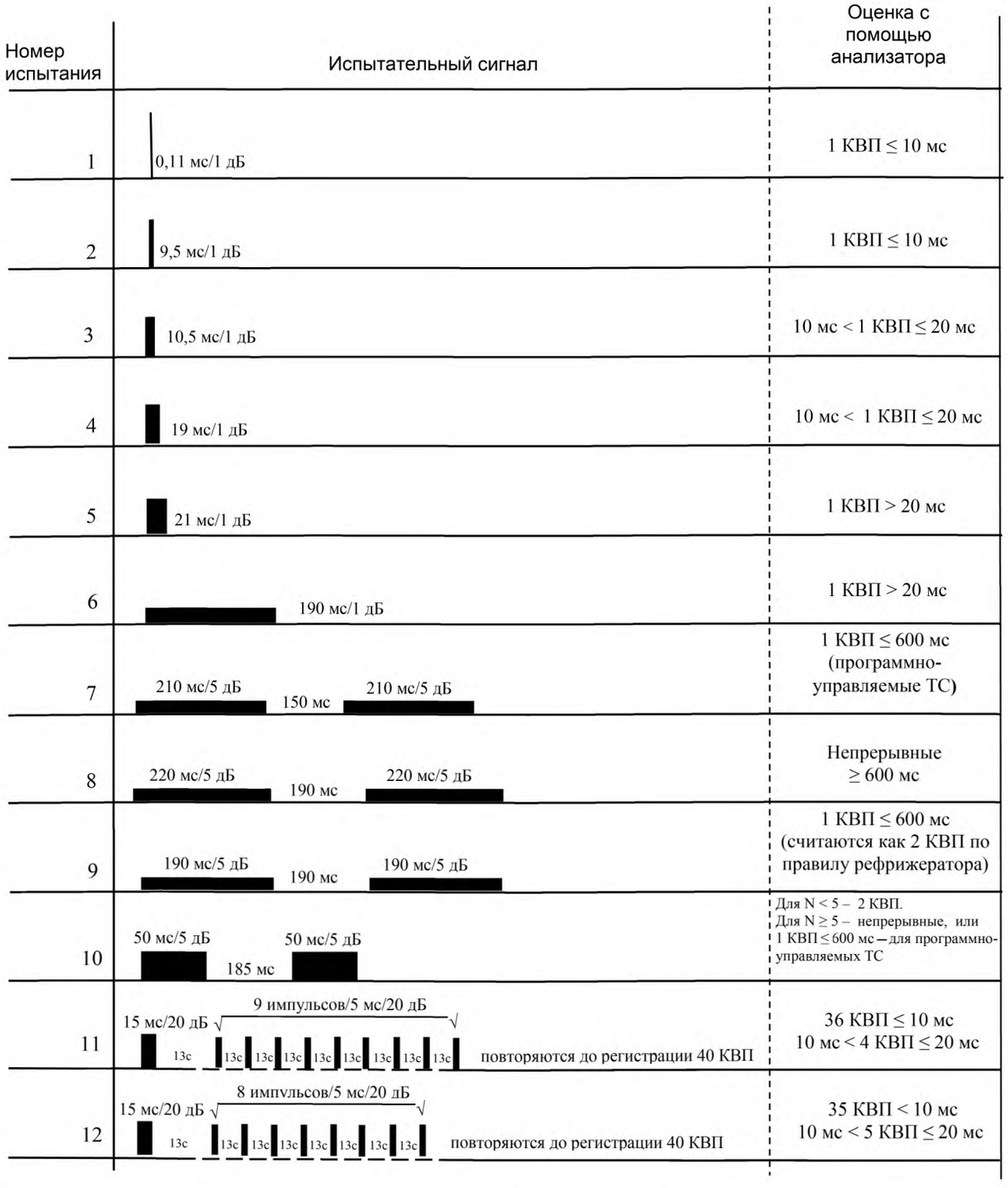


Рисунок F.1 — Графическое представление испытательных сигналов, используемых при проверке соответствия анализатора помех дополнительным требованиям, приведенным в таблице F.1

Приложение G
(справочное)

Обоснование требований к функции измерения распределения вероятностей амплитуд

a) Динамический диапазон амплитуд

Динамический диапазон амплитуд определяют как интервал, включающий в себя все возможные значения амплитуд, необходимые для измерения функции распределения амплитуд. Верхний предел динамического диапазона должен быть больше пикового уровня измеряемой помехи, а нижний — меньше нормы помех, установленной для конкретного испытуемого устройства.

В соответствии с CISPR 11 норма помех (пиковое значение) для ISM устройств группы 2 класса B установлена равной 110 дБ (мкВ/м), а «взвешенная» норма составляет 60 дБ (мкВ/м). Следовательно, динамический диапазон должен быть больше 60 дБ (с запасом 10 дБ).

b) Частота выборки

В идеальном случае функцию распределения амплитуд определяют с использованием эквивалентной ширины полосы защищаемой радиослужбы. Однако для частот свыше 1 ГГц полосу разрешения анализаторов помех определяют как 1 МГц. Поэтому скорость выборки должна быть более 10 млн отсчетов в секунду.

c) Максимальное время измерения

В CISPR 11 определено максимальное время удержания 2 мин. при измерениях помех от микроволновых печей для приготовления пищи с применением измерителя с пиковым детектором на частоте свыше 1 ГГц. Следовательно, время измерения при определении функции распределения должно быть не менее 2 мин. Размер счетчика или ограниченность памяти могут затруднить проведение непрерывных измерений в течение длительных периодов. Поэтому допускаются периодические измерения при условии, что общее время пауз между измерениями составляет менее 1 % полного времени измерения.

d) Минимальная измеряемая вероятность

Для получения достоверно значимого результата может потребоваться около 100 циклов измерений. Поэтому минимальное значение фиксируемой вероятности рассчитывают следующим образом.

Считают, что время измерения равно 2 мин., а число отсчетов — 10 млн в секунду; следовательно, минимальная вероятность определяется как

$$100/(120 \cdot 10 \cdot 10^6) \pm 10^{-7}.$$

e) Отображение данных распределения вероятностей амплитуд

Амплитудное разрешение при отображении результатов распределения амплитуд зависит от динамического диапазона и разрешающей способности аналого-цифрового преобразователя. Например, разрешение отображения становится менее 0,25 дБ (± 60 дБ/256) при использовании 8-битового аналого-цифрового преобразователя при динамическом диапазоне амплитуд, равном 60 дБ.

Блок-схемы устройств измерения функции распределения амплитуд представлены на рисунках G.1, G.2. Пример функции распределения амплитуд приведен на рисунке G.3.

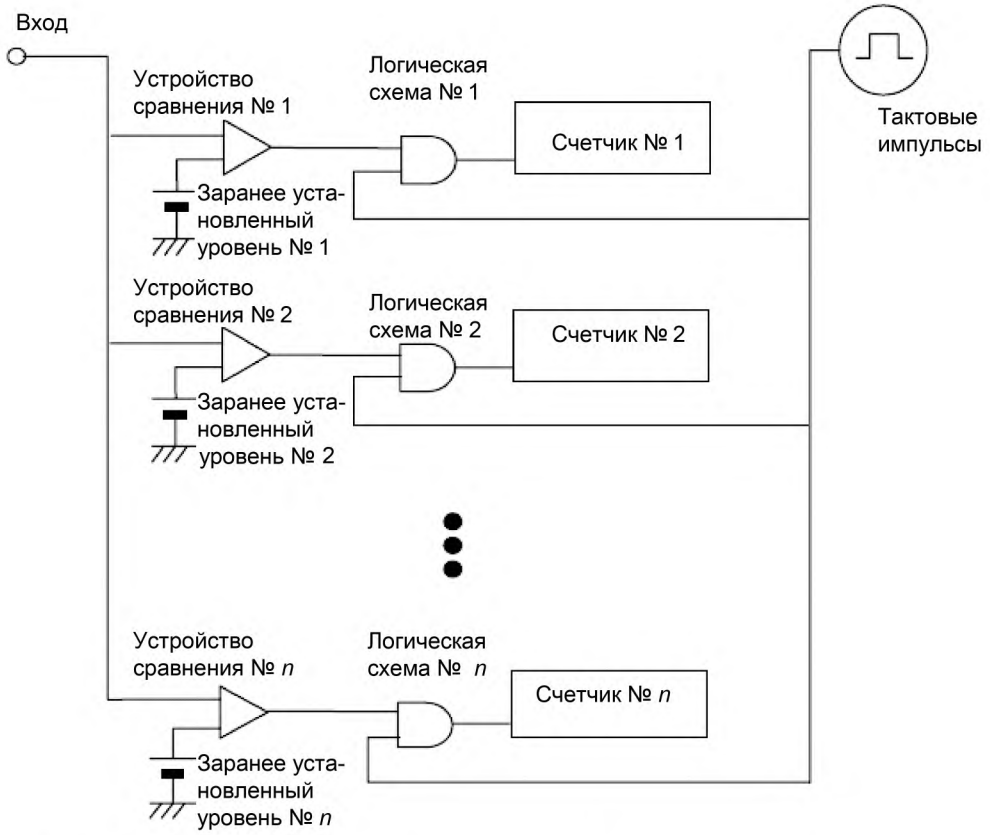
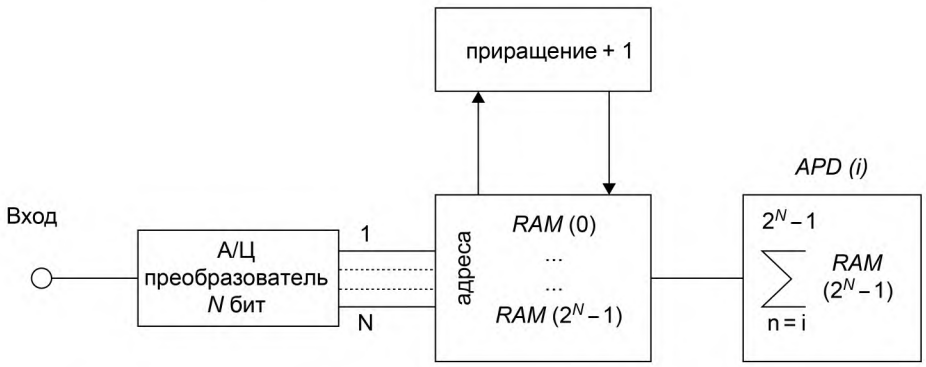


Рисунок G.1 — Блок-схема устройства измерения функции распределения амплитуд без аналого-цифрового преобразователя



RAM — запоминающее устройство; *APD* — распределения вероятностей амплитуд

Рисунок G.2 — Блок-схема устройства измерения функции распределения амплитуд с аналого-цифровым преобразователем

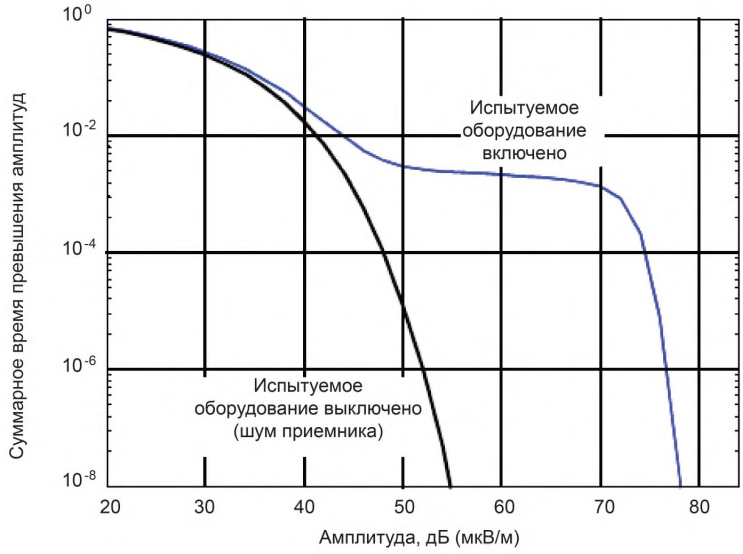


Рисунок G.3 — Пример функции распределения амплитуд

Приложение Н
(справочное)

Характеристики измерительного приемника с детектором квазипиковых значений

В таблице Н.1 представлены технические требования к измерительному приемнику с детектором квазипиковых значений. Эти требования относятся к общим характеристикам прибора и не относятся к характеристикам отдельных компонентов и узлов прибора. Импульсные характеристики, как указано в 4.4, рассчитываются применительно к измерительным приемникам, имеющим следующие основные характеристики.

Таблица Н.1 — Характеристики измерительных приемников с детектором квазипиковых значений

Характеристики	Полоса частот		
	Полоса А 9—150 кГц	Полоса В 0,15—30 МГц	Полосы С и D 30—1000 МГц
Номинальная ширина полосы пропускания на уровне минус 6 дБ (B_6), кГц	0,20	9	120
Постоянная времени заряда детектора, мс	45	1	1
Постоянная времени разряда детектора, мс	500	160	550
Механическая постоянная времени индикаторного прибора с критическим демпфированием, мс	160	160	100
Коэффициент перегрузки каскадов, предшествующих детектору, не менее, дБ	24	30	43,5
Коэффициент перегрузки усилителя постоянного тока между детектором и индикаторным прибором, не менее, дБ	6	12	6

Примечания

1 При определении механической постоянной времени (см. 3.8) предполагается, что индикаторный прибор является линейным, т. е. одинаковые приращения тока приводят к одинаковым приращениям отклонения. Индикаторный прибор, имеющий другое соотношение между током и отклонением, также может быть использован при условии, что прибор соответствует требованиям, установленным в настоящем разделе. При использовании электронного измерительного прибора его механическая постоянная времени может быть имитирована с использованием электронных схем.

2 Допустимые отклонения электрических и механических постоянных времени не устанавливаются. Для обеспечения соответствия требованиям 4.4 реальные значения допустимых отклонений постоянных времени в конкретном измерительном приемнике определяются его конструкцией.

Приложение I
(справочное)

Пример построения приемника EMI и сканирующего анализатора спектра

Настоящее приложение представляет собой краткое описание основных различий между приемниками EMI и сканирующими анализаторами спектра применительно к требованиям настоящего стандарта. Рисунок I.1 иллюстрирует пример построения обоих типов приборов. Части, затененные серым цветом, обычно реализуются в испытательных приборах для достижения соответствия техническим требованиям настоящего стандарта.

Примечание — Дополнительная справочная информация в настоящее время находится в процессе подготовки для CISPR 16-3.

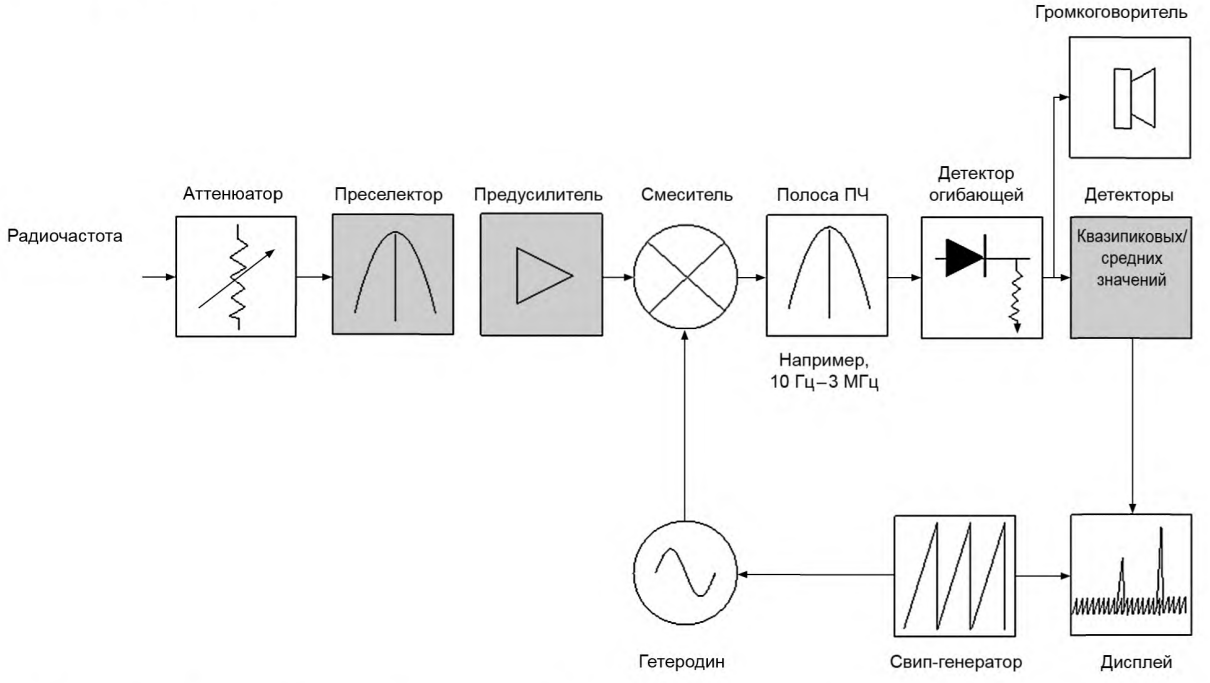


Рисунок I.1 — Пример блок-схемы приемника EMI, состоящего из сканирующего анализатора спектра с преселектором, предусилителем и детектором квазипиковых/средних значений

Основные различия между этими двумя типами приборов указаны ниже.

a) Сканирующие анализаторы спектра являются сканирующими приборами, в которых непрерывно перестраивается частота местного гетеродина, чтобы охватить полосу частот, представляющую интерес. Некоторые приемники EMI имеют ступенчатую развертку, т. е. прибор настраивается на фиксированные частоты при определенном значении шагов частоты для покрытия полосы частот. Амплитуда на каждой частоте настройки измеряется и сохраняется для дальнейшей обработки или отображения.

b) Большинство сканирующих анализаторов спектра не имеют преселекции (т. е. фильтрации на входе), встроенной в прибор перед первым каскадом преобразования частоты. Это обычно приводит к недостаточности динамического диапазона для измерения импульсов с малой частотой повторения при квазипиковом детектировании и, таким образом, может привести к ошибочным результатам измерений, осуществляемых при данных условиях.

c) Сканирующие анализаторы спектра с преселекцией коммерчески доступны. Этот тип приборов может соответствовать всем требованиям настоящего стандарта и в случае полного соответствия этому стандарту может

быть использован без каких-либо ограничений для выполнения измерений электромагнитной эмиссии в соответствии со стандартами серии CISPR 16-2.

d) Требования, применимые к анализаторам спектра без переселекции в отношении квазипикового детектирования являются менее жесткими, и возможность их использования является условной и зависящей от сигналов, подлежащих измерению.

e) Анализаторы спектра могут не иметь встроенного предварительного усилителя. Приемники EMI, как правило, имеют предварительный усилитель после преселектора.

f) Критерии частотной избирательности, установленные в 4.5, могут не быть выполнены в сканирующих анализаторах спектра. В типичных сканирующих анализаторах спектра используется гауссовская форма фильтров, что может не отвечать этим требованиям. Настоящий стандарт требует, чтобы сканирующие анализаторы спектра удовлетворяли техническим требованиям, установленным в 4.5.

g) Сканирующие анализаторы спектра могут не иметь встроенного детектора квазипиковых значений. Настоящий стандарт устанавливает необходимость соответствия анализаторов спектра требованиям по квазипиковому детектированию, установленным в 4.4. Вместе с тем документированные требования к частотам следования импульсов неприменимы к сканирующим анализаторам спектра без преселекции.

h) Сканирующие анализаторы спектра могут не обеспечивать соответствующий отклик на прерывистые, нестационарные и дрейфующие узкополосные помехи, как указано в 6.5.4. Настоящий стандарт устанавливает к анализаторам спектра требование соответствия характеристикам, приведенным в 6.5.4.

Приложение J
(обязательное)

Требования к использованию внешнего предварительного усилителя с измерительным приемником

J.1 Общие положения

Использование внешнего предварительного усилителя на входе измерительного приемника требует детального обсуждения, т. к. одновременно с повышением чувствительности системы предварительный усилитель может нарушить соответствие требованиям к перегрузке, установленным в настоящем стандарте. Более того, предварительный усилитель может сделать невозможным использование анализатора спектра без преселекции для измерений импульсных сигналов с частотами повторения импульсов менее 20 Гц при квазипиковом детектировании, как это установлено в 4.4.2.

Следовательно, оператор измерительной системы, включающей в себя внешний предварительный усилитель, должен определить ограничения системы и провести проверки линейности испытательной системы в целом. Результаты автоматизированных измерений с предварительным усилителем необходимо подтвердить ручной проверкой линейности. Информация, приведенная в настоящем приложении, представляет собой рекомендации для пользователя системы измерения электромагнитной эмиссии.

J.2 Обсуждение оптимальной конструкции системы измерения электромагнитной эмиссии

Измерительные приемники конструируются для достижения оптимальной чувствительности при исключении перегрузок. Встроенный в измерительный приемник преселектор исключает перегрузку импульсными сигналами. Несмотря на преселекцию, измерительные приемники обычно не обладают резервом линейности для квазипикового измерения одиночных импульсов в установленной области индикации. Отсутствие преселекции в измерительном приемнике вызывает проблемы с квазипиковым детектированием импульсных сигналов при малой частоте повторения.

Использование внешнего широкополосного предварительного усилителя следует рассматривать только после того, как были исчерпаны все меры улучшения чувствительности системы, включая применение измерительных приемников с встроенным предварительным усилителем, антенн с достаточным усилением, соединительных кабелей с низкими потерями. Необходимость применения внешнего предварительного усилителя возникает только в том случае, если норма помех и все виды электромагнитной эмиссии, подлежащей измерению, достаточно близки к уровню шума системы, что имеет, например, место при соответствии нормам излучаемых помех класса 5 по CISPR 25. Если ожидается высокий уровень сигналов электромагнитной эмиссии или высокий уровень внешнего шума, применение внешнего предварительного усилителя не рекомендуется.

Опыт показывает, что внешние предварительные усилители не являются необходимыми для измерений излучаемых помех по нормам класса B CISPR 11, CISPR 22 [13] и CISPR 32 [15] при измерительном расстоянии 3 и 10 м, если используются измерительные приемники, оборудованные встроенными предварительными усилителями, включая преселекцию, и применяются антенные кабели с низкими потерями. Та же самая ситуация имеет место при измерении излучаемых помех по CISPR 14-1, CISPR 15, общим стандартам электромагнитной эмиссии, а также при измерениях мощности помех.

Внешние предварительные усилители не рекомендуются для измерений кондуктивных помех ниже 30 МГц, их применение может вызвать появление гармоник в присутствии помехи высокого уровня на частотах ниже 150 кГц, где многие стандарты электромагнитной эмиссии не устанавливают норм помех.

Если все же внешний предварительный усилитель включен для улучшения чувствительности, необходимо учитывать следующее:

a) предварительные усилители имеют широкую полосу пропускания, т. е. они восприимчивы к перегрузкам в присутствии импульсных сигналов и узкополосных сигналов высокого уровня;

b) предварительные усилители могут создавать продукты интермодуляции и гармоники, что особенно важно, когда измерения проводятся на открытой испытательной площадке и/или в присутствии радиопередающего оборудования;

c) предварительные усилители повышают уровень сигнала на входе приемника и, следовательно, могут вызвать перегрузку входных каскадов приемника, что не может быть полностью исключено при наличии преселектора, встроенного в приемник;

d) усиление по чувствительности будет меньше, чем усиление по уровню сигнала, что вызывает уменьшение динамического диапазона комбинации «предварительный усилитель/приемник».

Примечание 1 — Под усилением по чувствительности понимается разность между значениями шума системы без предварительного усилителя и с предварительным усилителем;

e) для обеспечения максимальной чувствительности в полосе частот свыше 1 ГГц предварительный усилитель монтируется/подключается непосредственно к приемной антенне;

f) при определении результата измерений с использованием предварительного усилителя необходимо точно учитывать значения усиления применительно к различным частотам характеристики избирательности;

g) в бюджет неопределенности при измерениях должны быть включены неопределенность усиления в функции от температуры и старения, а также дополнительные неопределенности за счет ошибок рассогласования между выходным портом предварительного усилителя и входным портом приемника. Входное полное сопротивление должно насколько это возможно соответствовать требованиям к измерительному приемнику и также должно быть включено в бюджет неопределенности;

h) для полосы частот E CISPR система, состоящая из предварительного усилителя и приемника, должна быть сконструирована так, чтобы были исключены ее перегрузки сигналами более низких полос частот и/или любыми сигналами, являющимися внеполосными или побочными по отношению к измеряемому сигналу (например, к перегрузке системы не должны приводить ISN-сигналы микроволновой печи).

Усиление по чувствительности определяется с использованием следующего соотношения:

$$F=P_{ie}/kT_0B \quad (J.1)$$

и для усилителя

$$F=P_o/gkT_0B, \quad (J.2)$$

где F — коэффициент шума (величина 10 lg$F$ — шумовая характеристика, часто обозначается символом NF);
P_{ie} — эквивалентная входная мощность шума;
P_0 — эквивалентная выходная мощность шума;
g — рассчитывается по значению усиления, G = 10 lg$g$, соответственно, $g = 10^{G/10}$;
k — постоянная Больцмана = 1,38 · 10^{-23} Втс/К° и kT_0 = 4 · 10^{-21} Вт/Гц;
T_0 — абсолютная опорная температура помещения (293 К°);
B — шумовая полоса пропускания (например, измерительного приемника).

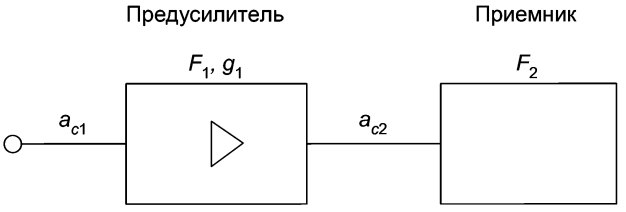


Рисунок J.1 — Измерительный приемник с предусилителем

В соответствии с рисунком J.1, полагая, что ослабление в кабеле a_{c2} = 0 дБ, получаем:

$$10 \lg F_{tot} = a_{c1} + 10 \lg [F_1 + (F_2 - 1)/g], \quad (J.3)$$

где F_{tot} — коэффициент шума системы на входном кабеле с ослаблением a_{c1}.

Если $a_{c2} \neq 0$ дБ, то коэффициент усиления предварительного усилителя в уравнении (J.3) должен быть заменен на 10(G_1 — a_{c2})/10. Ослабление кабеля a_{c1} = 0 дБ достигается креплением и/или присоединением предварительного усилителя непосредственно к антенне.

Если $ac1 \neq 0$ дБ, то ослабление кабеля a_{c1} добавляется к шумовой характеристике, как показано в уравнении (J.3).

Современные предварительные усилители имеют, как правило, шумовую характеристику 3 дБ или менее, что соответствует коэффициенту шума F_1 = 2. Измерительные приемники со встроенными предварительными усилителями имеют шумовую характеристику около 8 дБ, что соответствует коэффициенту шума F_2 = 6,3. Высокий коэффициент шума обусловлен ослаблением, вносимым преселектором и другими внутренними потерями приемника. Приемники без встроенного предварительного усилителя в типичном случае имеют шумовую характеристику около 15 дБ, что соответствует коэффициенту шума F_2 = 31,6.

Примечание 2 — Шумовая характеристика 10 lg F_2 измерительного приемника может быть определена по измеренному уровню шума, используя выражение:

$$10 \lg F_2 = V_{Nav} + 67 - 10 \lg B_N - w_{Nav}$$

где V_{Nav} — шумовой порог при линейном детектировании средних значений, дБ (мкВ);
B_N — шумовая полоса пропускания измерительного приемника, Гц;
w_{Nav} — шумовой коэффициент взвешивания для линейного детектирования средних значений, дБ.

Пример — Если V_{Nav} = –10,7 дБ (мкВ), B_N = 85 кГц (для B_6 = 120 кГц) и w_{Nav} = минус 1 дБ, то шумовая характеристика 10 lgF_2 = 8 дБ.

Величина w_{Nav} представляет собой разность между показаниями линейного детектора средних значений и детектора среднеквадратичных значений при гауссовском шуме [21]; значения w_{Nqp} для квазипикового детектирования приблизительно равны 4 дБ для полосы частот B и 6 дБ для полос частот C/D; для пикового детектирования w_{Npk} может быть до 12 дБ в зависимости от времени измерения.

Шумовая полоса пропускания B_N близка к полосе пропускания B_3 измерительного приемника на уровне 3 дБ. Приближенная аппроксимация дается выражением B_N = 1,1 B_3. Детальные сведения в отношении реализации различных фильтров см. в [21].

С учетом указанной выше шумовой характеристики предварительного усилителя 3 дБ будет приемлемо обеспечить шумовую характеристику системы 10 lgF_{tot} = 4 дБ, что соответствует коэффициенту шума 2,51. Для этого необходимо, чтобы (F_2 – 1)/g_1 = 0,51 или g_1 = (F_2 – 1)/0,51.

Для приемников с встроенным предварительным усилителем результирующее усиление g_1 = 10,39 или G_1 = 10,2 дБ.

Для приемников без встроенного предварительного усилителя результирующее усиление g_1 = 60 или G_1 = 17,8 дБ.

Для приемников без встроенного предварительного усилителя, как указано выше, внешний предварительный усилитель с шумовой характеристикой 3 дБ и усилением 10 дБ будет обеспечивать шумовую характеристику системы 7 дБ.

Приведенные выше примеры показывают, что в измерительном приемнике с встроенным предварительным усилителем для улучшения чувствительности на 4 дБ необходимо усиление сигнала около 10 дБ. В измерительном приемнике без встроенного предварительного усилителя для улучшения чувствительности на 11 дБ необходимо усиление сигнала почти на 18 дБ, для улучшения чувствительности на 8 дБ необходимо усиление сигнала на 10 дБ. Очевидно, что шумовая характеристика системы, равная 3,5 дБ, не может быть легко достигнута при шумовой характеристике предварительного усилителя 3 дБ, т. к. будет необходимо дополнительное усиление предварительного усилителя. В таблице J.1 приведены примеры шумовых характеристик.

Использование предварительных усилителей с усилением 30 дБ или более нежелательно, т. к. это будет серьезно ограничивать функционирование системы в линейном режиме.

Таблица J.1 — Примеры сведений о предварительных усилителях и измерительных приемниках и результирующие шумовые характеристики систем

Предварительный усилитель				Измерительный приемник		Система
Коэффициент шума	Шумовая характеристика	Коэффициент усиления	Усиление	Коэффициент шума	Шумовая характеристика	Шумовая характеристика
F_1	10 lgF_1, дБ	g_1	G_1, дБ	F_2	10 lgF_2, дБ	10 lgF_{tot}, дБ
2	3	10,4	10,2	6,3	8	4
2	3	10	10	31,6	15	7
2	3	60	17,8	31,6	15	4

J.3 Требования линейности и предостережения при измерениях

Динамический диапазон предварительных усилителей определяется точкой компрессии 1 дБ, точкой компрессии 3 дБ и точкой насыщения. Для исключения искажений, вызываемых входным сигналом, сигнал в идеальном случае должен оставаться ниже точки компрессии 1 дБ в течение всего времени измерения. На рисунке J.2 приведен пример передаточной функции усилителя. Отклик такого усилителя во временной и частотной области при синусоидальном входном сигнале представлен на рисунке J.3. Следует отметить, что цифры, приведенные на осях графиков на рисунках J.2, J.3 и J.4, представляют собой обобщенные (квантованные) значения, не относящиеся к конкретным изделиям.

На рисунке J.3 видно, что синусоидальный сигнал искажается во временной области из-за нелинейных эффектов в предварительном усилителе. Дисплей в частотной области показывает, что уровень сигнала на частоте 100 МГц уменьшается и что возникают сигналы на гармонических частотах. Соответствующая имитация для широкополосного импульса представлена на рисунке J.4.

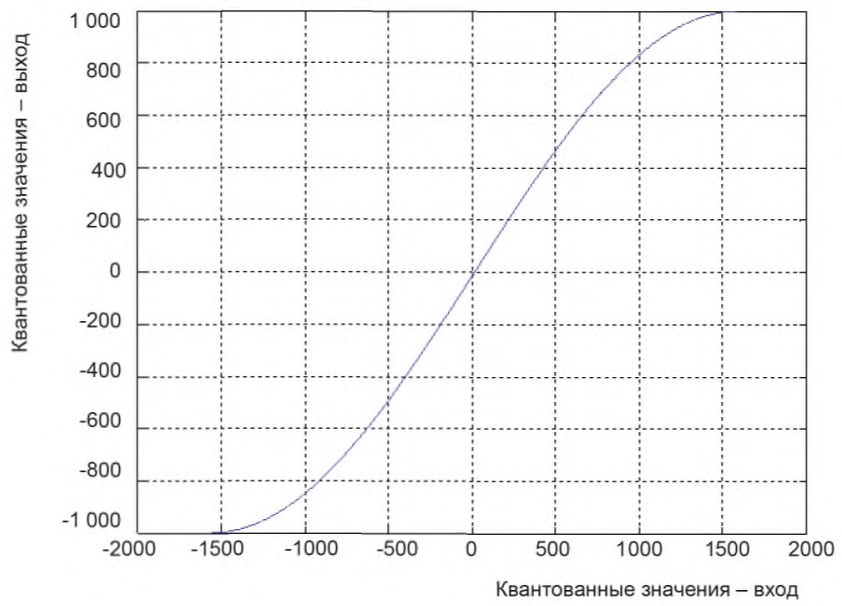
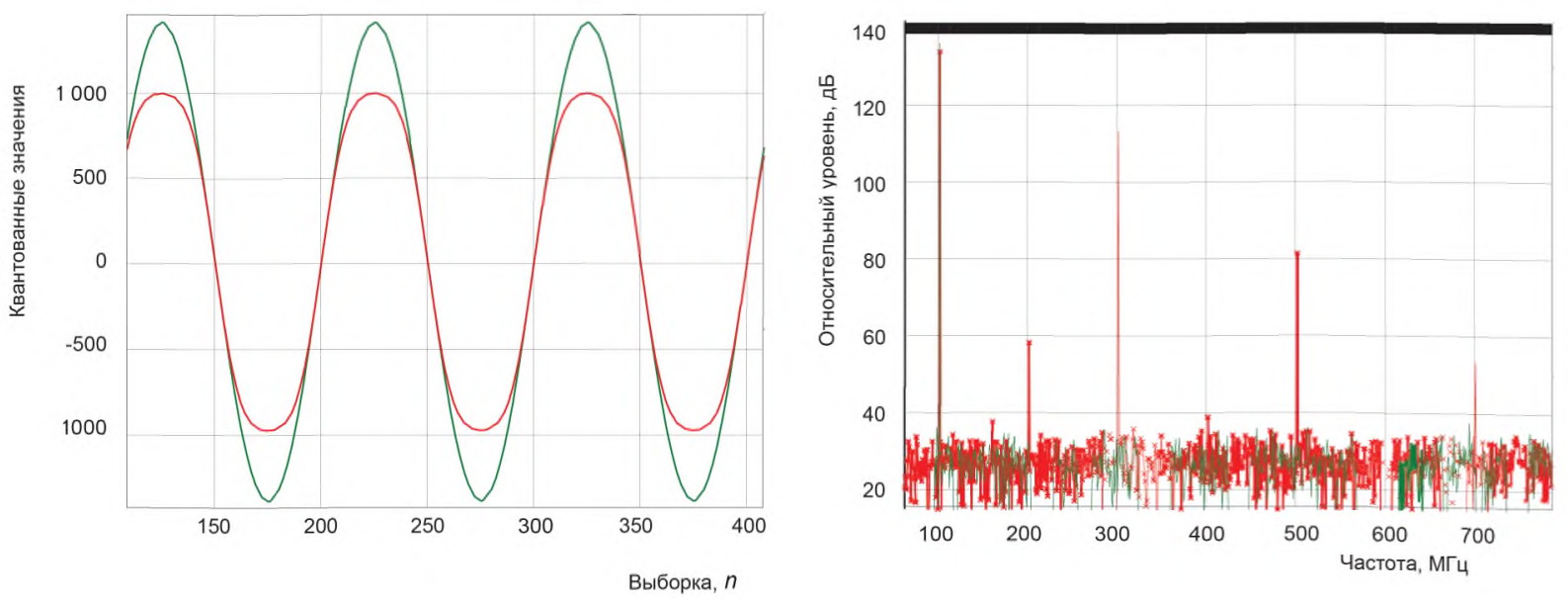
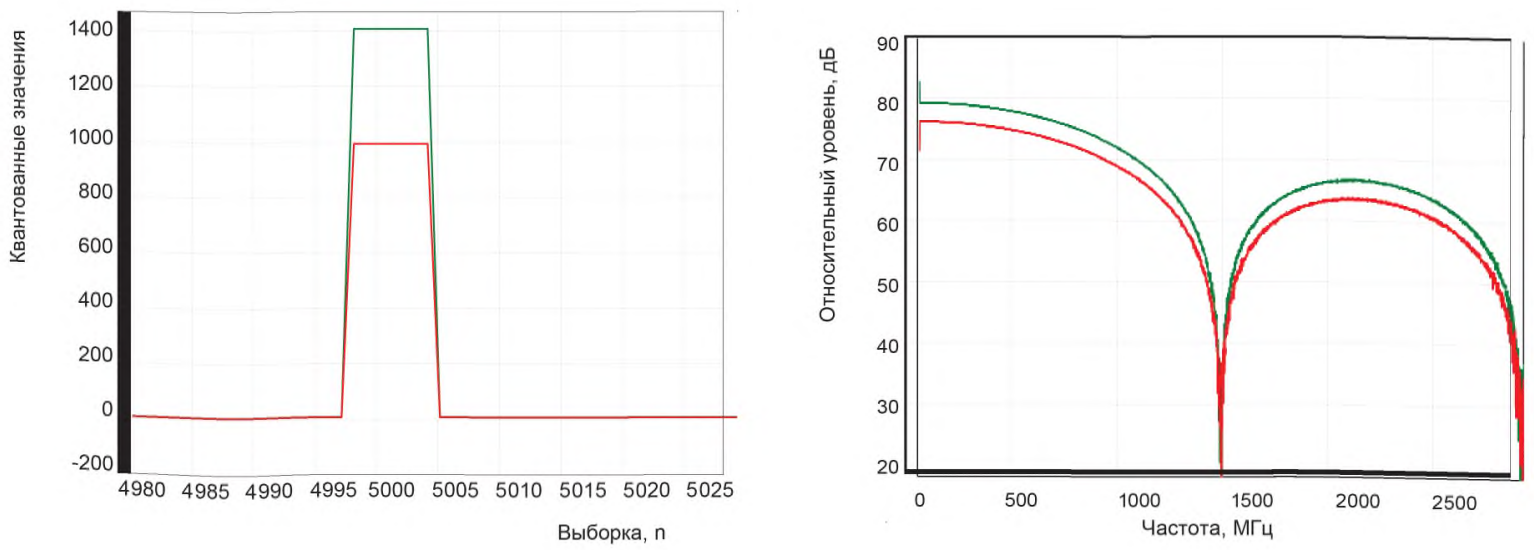


Рисунок J.2 — Передаточная функция усилителя



Зеленый цвет — нормализованный входной сигнал; красный цвет — выходной сигнал

Рисунок J.3 — Отклик на синусоидальный сигнал



Зеленый цвет – нормализованный входной сигнал; красный цвет – выходной сигнал

Рисунок J.4 — Отклик на импульс

Сравнивая рисунки J.3 и J.4, можно видеть, что во временной области функционирование в точке насыщения приводит к одним и тем же результатам. Однако в частотной области эффекты насыщения внешнего предварительного усилителя различны. Для импульсного сигнала амплитудный уровень уменьшается, что приводит к неправильному результату измерения. Для синусоидального сигнала амплитуда основной частоты уменьшается, но одновременно из-за нелинейных эффектов внешнего предварительного усилителя генерируются сигналы на гармонических частотах, что также приводит к неправильному результату измерения.

Качество функционирования системы, т. е. уровень шума системы и ее защищенность от перегрузок, будет зависеть от характеристик предварительного усилителя и измерительного приемника. Для узкополосных сигналов точка компрессии 1 дБ на выходе предварительного усилителя, как правило, превышает точку компрессии 1 дБ на входе измерительного приемника. Преселектор измерительного приемника улучшает линейность системы при измерении широкополосных импульсных сигналов. Таким образом, во внимание следует принимать два типа систем: систему с преселектором на входе измерительного приемника и систему без преселектора.

На входе некоторых измерительных приемников без преселекции эффективно применяется широкополосный детектор перегрузки. Он используется для того, чтобы выявить уровень сигнала на входе первого смесителя, соответствующий точке компрессии 1 дБ и предупредить пользователя о проблемах с линейностью. Детектор перегрузки может также быть использован в качестве индикатора, обеспечивающего правильность результатов измерений. Аналогичное обнаружение состояния перегрузки рекомендуется для широкополосных измерительных систем на основе быстрого преобразования Фурье (FFT), чтобы исключить функционирование широкополосных преобразователей аналог/цифра в режиме перегрузки (см. J.4).

Другие предостережения при измерениях включают предсказание ожидаемого значения коэффициента перегрузки при измерениях импульсных помех. Для этого должны быть установлены зависимость усиления от частоты, шумовая характеристика и точка компрессии 1 дБ предварительного усилителя и полной системы, состоящей из предварительного усилителя и измерительного приемника.

Для полос частот C/D CISPR зависимость между точкой компрессии 1 дБ для синусоидального сигнала и пиковым значением широкополосного импульсного сигнала CISPR с полосой частот 2 ГГц выражается коэффициентом полосы частот F_{bw}, который равен 85 дБ [F_{bw} = 20 lg(2000/0,12)]. На рисунках J.5 и J.6 представлены отклонения от линейности для немодулированного синусоидального сигнала и импульсных сигналов предварительного усилителя с точкой компрессии 1 дБ, равной 112 дБ (мкВ).

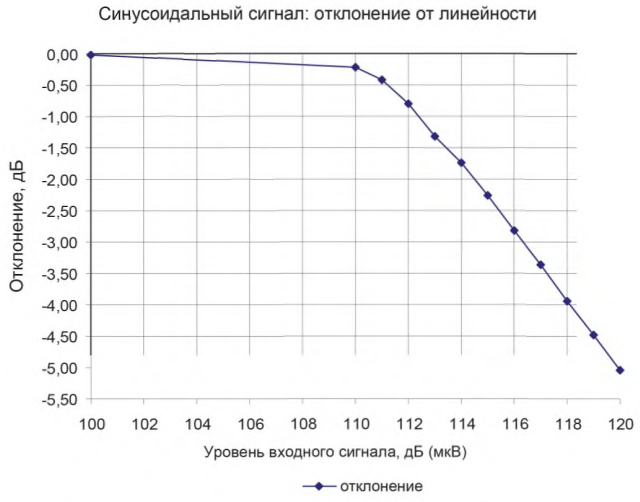
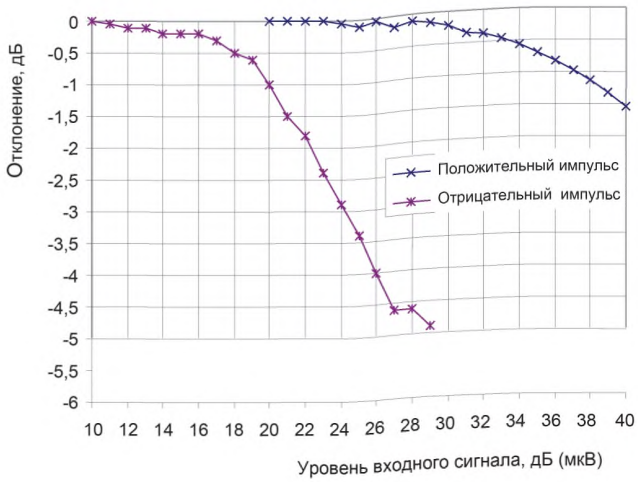


Рисунок J.5 — Отклонение от линейного усиления
для немодулированного синусоидального сигнала (пример)



Примечание — При F_{bw} = 85 дБ пиковое значение положительного импульсного сигнала с частотой повторения 100 Гц равно 37 дБ (мкВ) +12 дБ + 85 дБ = 134 дБ (мкВ), т. е. примерно на 22 дБ выше точки компрессии 1 дБ на рисунке J.5. 12 дБ — квазипиковый коэффициент взвешивания, т. е. разность между пиковым и квазипиковым значением для частоты повторения 100 Гц.

Рисунок J.6 — Отклонение от линейного усиления для широкополосного импульсного сигнала при измерении детектором квазипиковых значений (пример)

Плоский характер кривой отклонения усиления от линейного для положительных импульсов на рисунке J.6 обманчив, потому что в данном случае нелинейность усилителя маскируется собственными продуктами интермодуляции усилителя. Этот эффект может быть выявлен, если применить на входе предварительного усилителя полосно-заграждающий фильтр с глубиной выреза более 40 дБ (полосно-заграждающий фильтр по 4.6). Для приемлемого действия (ошибка вклада за счет интермодуляции менее 1 дБ) глубина выреза при интермодуляционных испытаниях должна быть по крайней мере 20 дБ. Значение 20 дБ обеспечивается при квазипиковых измерениях при частоте повторения импульсов 100 Гц; частота повторения 100 Гц рассматривается в качестве компромисса.

В идеальном случае для квазипиковых измерений при всех частотах повторения должна быть обеспечена глубина выреза 20 дБ. Это показано на рисунке J.7 для того же предварительного усилителя с усилением 10 дБ, в котором глубина выреза 20 дБ сохраняется при пиковом уровне входного сигнала менее 37 дБ (мкВ) и при пиковом уровне выходного сигнала менее 46 дБ (мкВ) (кривая голубого цвета). Для частоты повторения импульсов 100 Гц пиковый уровень 37 дБ (мкВ) соответствует квазипиковому уровню 25 дБ (мкВ). Следовательно, хотя на рисунке J.6 точка компрессии 1 дБ имеет место для положительных импульсов при квазипиковом значении 37 дБ (мкВ), на самом деле предварительный усилитель уже перегружен. Для исключения излишней интермодуляции входной сигнал должен быть по крайней мере на 12 дБ (мкВ) меньше, т. е. равным 25 дБ (мкВ) (квазипиковое значение).

Кривая положительных импульсов на рисунке J.6 показывает также, что простое испытание с переключаемым аттенюатором для выявления перегрузки 10 дБ на входе предварительного усилителя может и не показать наличие перегрузки в случае импульсных сигналов, потому что выходной сигнал может следовать за входным уровнем, даже если входной сигнал предварительного усилителя на 20 дБ выше точки компрессии 1 дБ. Простое испытание для выявления перегрузки может быть эффективным для синусоидальных сигналов. Однако лучше характеризовать систему по отношению к импульсным сигналам будет интермодуляционное испытание с применением полосно-заграждающего фильтра. Если провести интермодуляционное испытание с применением полосно-заграждающего фильтра не представляется возможным, следует использовать точку компрессии 1 дБ на входе предварительного усилителя.

Примечание — Оценку системы путем интермодуляционного испытания с применением полосно-заграждающего фильтра должен провести поставщик системы. Было бы непрактично проводить испытание с использованием полосно-заграждающего фильтра в каждой лаборатории ЭМС при проведении испытаний на электромагнитную эмиссию.

Отметим, что при проведении интермодуляционного испытания с применением полосно-заграждающего фильтра необходимо убедиться, что измерительный приемник, используемый как индикатор на выходе предварительного усилителя, не перегружен.

На рисунке J.8 показано, что глубина выреза при проведении интермодуляционного испытания по CISPR измерительного приемника с преселектором превышает 30 дБ при входном сигнале (квазипиковое значение)

55 дБ (мкВ), который соответствует входному сигналу 55 дБ (мкВ) (квазипиковое значение) предварительного усилителя с усилением 10 дБ.

При использовании измерительного приемника со встроенным широкополосным предварительным усилителем линейность внешнего предварительного усилителя может быть не определена адекватно из-за перегрузки измерительного приемника, как показано на рисунках J.9 и J.10, в то время как при наличии преселектора выход будет линейным.

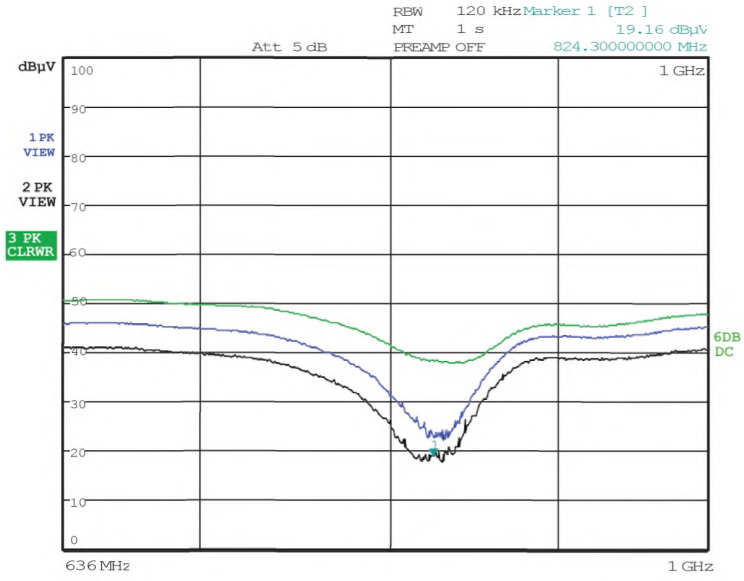


Рисунок J.7 — Испытание с полосно-заграждающим фильтром предварительного усилителя на частоте 818 МГц

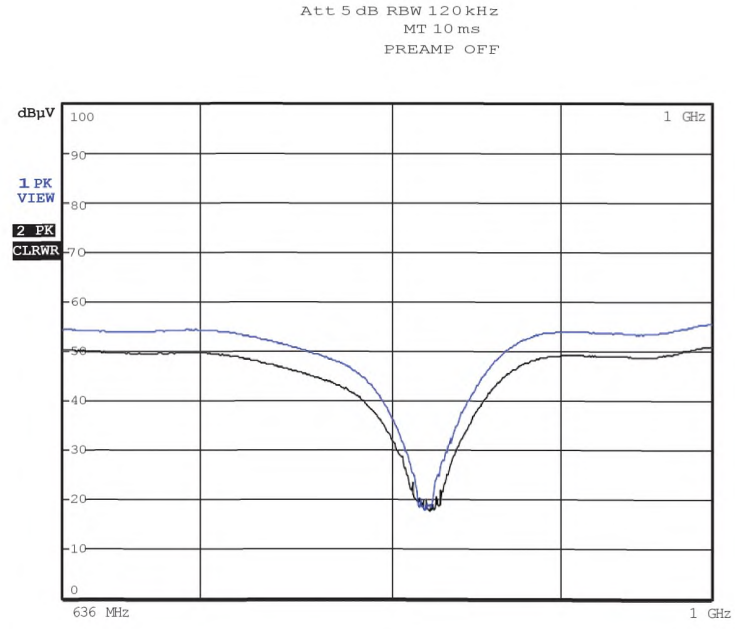


Рисунок J.8 — Результат испытания с полосно-заграждающим фильтром измерительного приемника на частоте 818 МГц

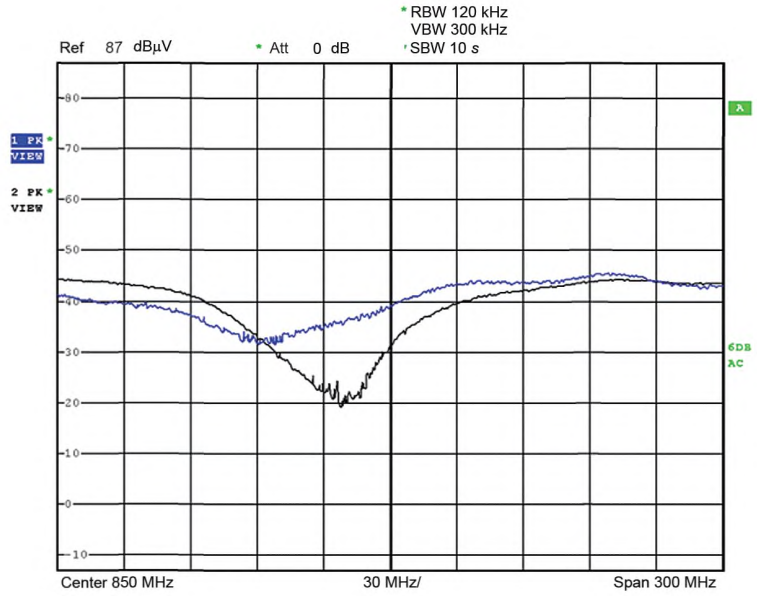
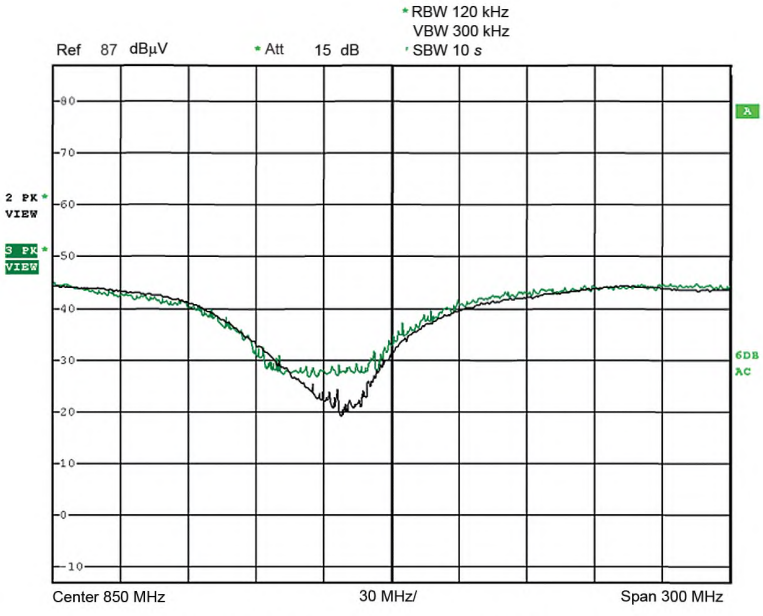


Рисунок J.9 — Результаты испытания с полосно-заграждающим фильтром для предварительного усилителя (по рисунку J.7, усиление 10 дБ) с другим измерительным приемником (черный цвет — с преселектором, голубой цвет — без преселектора)



Примечание — Для исключения перегрузки приемника без преселектора был использован аттенюатор между внешним предварительным усилителем и приемником, при этом уровень шума приемника скрывает вырез.

Рисунок J.10 — Результаты испытания с полосно-заграждающим фильтром для предварительного усилителя (по рисунку J.7, усиление 10 дБ) с измерительным приемником по рисунку J.9 (черный цвет — с преселектором, зеленый цвет — без преселектора)

Если с измерительным приемником используется внешний широкополосный предварительный усилитель, пользователь не может ожидать соответствующего взвешивания такой системой широкополосных импульсных сигналов с использованием детекторов средних, среднеквадратичных-средних и квазипиковых значений при малой частоте повторения импульсов. Следовательно, пользователь должен определить рабочую область измерительной системы между уровнем шума и точкой компрессии 1 дБ для измерений широкополосных импульсных сигналов с детектором пиковых значений. Это определение позволяет заранее знать самую низкую частоту повторения

импульсов для соответствующего взвешивания широкополосных импульсных сигналов с использованием каждого индивидуального детектора.

На рисунке J.11 показаны функции взвешивания детекторов, установленных в CISPR 16-1-1 для полос CISPR C/D, и в качестве примера дана линия «Шум», что позволяет иллюстрировать рабочую область между уровнем шума и точкой компрессии 1 дБ. В данном примере уровень шума при пиковом детектировании на 15 дБ ниже точки компрессии 1 дБ. При квазипиковом детектировании уровень шума приблизительно на 5 дБ ниже, т. е. рабочая область увеличивается приблизительно на 5 дБ. Для детекторов среднеквадратичных-средних и средних значений уровень шума приблизительно на 10 дБ ниже, что в настоящем примере расширяет рабочую область до приблизительно 35 дБ. Чтобы провести линию шума, показанную на рисунке J.11, используется пиковый уровень V_P по испытанию с полосно-заграждающим фильтром по рисунку J.7 и определяется уровень шума детектора средних значений V_{Nav}. Разность $V_P - V_{nav}$ отмечает пересечение линии «Шум» с линией «Детектор средних значений». Для предварительного усилителя с усилением 10 дБ, рассмотренного выше, V_P = 37 дБ (мкВ), V_{Nav} = –14 дБ (мкВ) для шумовой характеристики шума и $V_P - V_{Nav}$ = 51 дБ. Линия «Шум» на рисунке J.11 проведена применительно к примеру $V_P - V_{Nav}$ = 27 дБ.

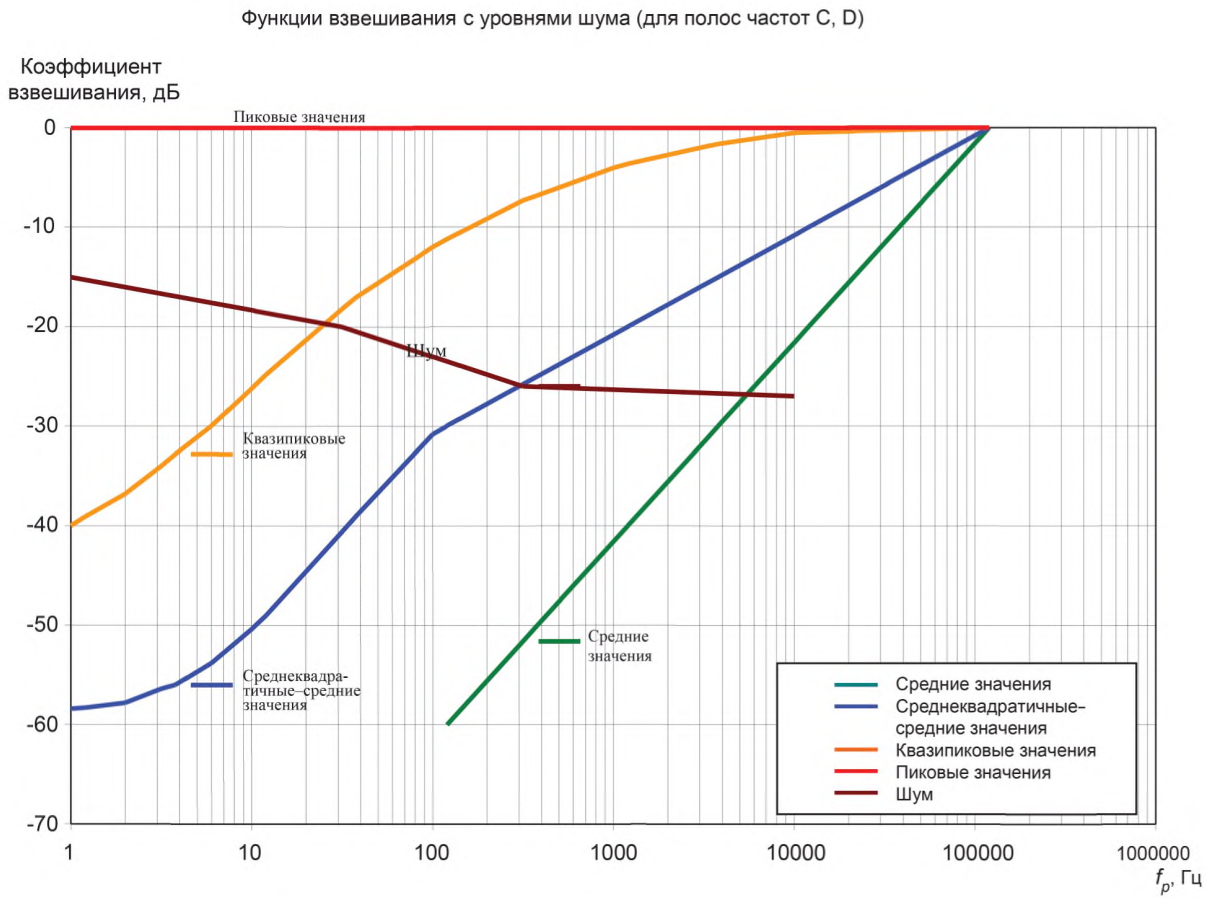


Рисунок J.11 — Функции взвешивания различных детекторов CISPR с линией шума, иллюстрирующие существующие рабочие области для широкополосных импульсных сигналов (пример)

Из рисунка J.11 может быть получена критическая частота повторения импульсов, при которой уровень импульсного сигнала, соответствующий точке компрессии 1 дБ, будет равен уровню шума.

Вместе с тем для точных измерений уровень сигнала должен быть приблизительно на 6 дБ выше уровня шума (точное значение зависит от частоты повторения импульсов). С учетом этого условия квазипиковые измерения применительно к данному примеру могут быть проведены для частот повторения выше примерно 60 Гц. Для детекторов среднеквадратичных-средних значений и средних значений критические частоты повторения импульсов равны примерно 1 и 10 кГц соответственно.

При практических измерениях рекомендуется проводить проверки линейности с использованием коэффициента взвешивания при критической частоте повторения импульсов. Применительно к условиям данного примера проверка линейности заключается в следующем:

a) при измерениях квазипиковых значений: критическая частота повторения превосходит 60 Гц, если разность между пиковым и квазипиковым значением меньше 15 дБ;

b) при измерениях среднеквадратичных-средних значений и средних значений: критические частоты повторения превосходят 1 кГц и 10 кГц, если разность между пиковым значением и среднеквадратичным-средним или средним значениями меньше 20 дБ.

Однако если измерения проводятся вблизи уровня шума, то разности могут быть уменьшены из-за влияния шума, который будет создавать впечатление более высоких частот повторения импульсов, чем имеют место в действительности.

J.4 Обнаружение перегрузки внешнего предварительного усилителя в широкополосной FFT — измерительной системе

Проверка функционирования предварительного усилителя в линейной области во время измерений может быть проведена с использованием как синусоидальных, так и импульсных сигналов путем определения максимального выходного сигнала предварительного усилителя и затем сравнения его с установленным пороговым уровнем, соответствующим точке компрессии 1 дБ.

В течение времени измерения должны непрерывно проводиться выборки из максимального (положительного) и минимального (отрицательного) напряжения и сравниваться с пороговым уровнем. Точка компрессии 1 дБ определяется для синусоидального сигнала при напряжении на выходе, которое на 1 дБ меньше, чем ожидается, как показано на рисунке J.5.

В течение времени измерения для обнаружения перегрузки может быть использован измерительный прибор, который дискретизирует сигнал на выходе внешнего предварительного усилителя. Для предыдущего примера пороговый уровень нормализованного значения на рисунке J.2 «вход» может быть принят равным 900 для исключения нелинейных эффектов. Пороговый уровень должен быть идентифицирован изготовителем системы в зависимости от ее применения. Например, измерение гармоник намеренных излучателей требует лучшей линейности (меньшего порогового значения), чем измерение импульсных помех. Измерительные приборы, дискретизирующие входной сигнал, должны соответствовать следующим требованиям, обеспечивающим принятие правильных решений:

a) непрерывный (без пропусков) опрос в течение времени измерения;

b) устанавливаемый пороговый уровень;

c) широкополосный опрос во всей полосе измерений (например, до 1 ГГц).

Типичные приборы, которые выполняют эти требования, включают в себя широкополосные FFT — измерительные приборы с обнаружением перегрузки, как описано в CISPR TR 16-3, и осциллографы в однокадровом ждущем режиме. Обнаружение перегрузки используется для того, чтобы исключить превышение рабочей области широкополосного аналого-цифрового преобразователя.

Приложение К
(обязательное)

Требования к калибровке измерительного приемника

К.1 Общие положения

При измерении электромагнитных помех важно использовать измерительное оборудование, которое соответствует требованиям настоящего стандарта, чтобы обеспечить ожидаемую инструментальную неопределенность измерений кондуктивных, излучаемых помех и мощности помех. Кроме того, результаты этих измерений должны быть прослеживаемыми (см. 3.17) в отношении принятых национальных или международных стандартов. Эти требования могут быть выполнены при выборе измерительного оборудования и его правильной калибровке. Требования к калибровке, изложенные в настоящем приложении, применимы только к испытательному оборудованию (например, приемникам EMI и анализаторам спектра), относящимся к области применения настоящего стандарта.

Испытательная лаборатория ЭМС несет ответственность за выбор и использование адекватного испытательного оборудования, а также за приобретение услуг по калибровке, пригодность которых обеспечивается путем аккредитации калибровочной лаборатории или иным путем.

Четкое понимание требований к калибровке, относящихся к испытательному оборудованию, важно для понимания специфических особенностей услуги по калибровке как в процессе ее приобретения, так и при проверке выполненной услуги и получении оборудования из калибровочной лаборатории перед ее размещением для эксплуатации в испытательной лаборатории.

К.2 Калибровка и проверка

Калибровка определяется как совокупность операций, устанавливающих путем ссылки на стандарт зависимость, существующую при определенных условиях, между показанием калибруемого прибора и результатом измерения при использовании соответствующего прослеживаемого опорного стандарта. Применительно к измерительному приемнику это означает, что процесс калибровки включающий в себя различные шаги, используется для определения действительных значений различных параметров калибровки путем проведения измерений при определенных условиях обстановки с привлечением измерительного оборудования, которое прошло калибровку в калибровочной лаборатории, пригодность которой была подтверждена путем ее аккредитации или иным путем.

Результаты измерений при калибровке используются для определения соответствия прибора, проходящего калибровку, техническим требованиям, установленным изготовителем.

Сам по себе процесс калибровки не требует проведения регулировки прибора. Однако регулировка может стать необходимой, если в процессе калибровки определено, что прибор не соответствует техническим требованиям изготовителя. Цель процесса калибровки прибора заключается в определении соответствия измерительного приемника, проходящего калибровку, опубликованным техническим требованиям прослеживаемым способом (см. 3.17).

Понятие «проверка» не должно восприниматься в значении «промежуточных проверок», именуемых также «проверками доверия»; последние представляют собой совокупность операций, направленных на демонстрацию очевидности правильного функционирования испытательного прибора. Промежуточная проверка измерительного приемника может значительно отличаться от процесса калибровки, потому что цели этих двух видов деятельности полностью различны.

К.3 Особенности калибровки и проверки

Калибровка измерительного прибора представляет собой специфический процесс, который устанавливает различные виды измерений для определения соответствия приемника его техническим характеристикам. В основном этот же процесс калибровки используется также и изготовителем приемника, чтобы установить к приемнику технические требования. Следовательно, только процесс калибровки, применяемый изготовителем, или процесс проверки в соответствии с требованиями настоящего стандарта должны быть применены в калибровочной лаборатории или в испытательной лаборатории, проводящей свои собственные калибровки для определения соответствия приемника его техническим требованиям при проведении калибровки или выполнения требований настоящего стандарта. Это требование применяется только к измерительным приемникам.

Если используется процесс, отличающийся от процесса калибровки, проводимого изготовителем, или процесса проверки, проводимого в соответствии с требованиями настоящего стандарта, то он должен быть аттестован проверяемым способом и в сертификате калибровки должно быть отражено, что процесс калибровки отличается от процесса калибровки, определенного изготовителем. Для вспомогательного оборудования, такого как эквиваленты сети питания, асимметричные эквиваленты сети, поглощающие клещи и антенны, должны применяться процедуры калибровки, документированные в других соответствующих частях серии стандартов CISPR 16.

При калибровке измерительных приемников должны быть также определены следующие существенные параметры процесса, которые должны быть использованы при правильной калибровке:

a) специальные настройки калибруемого приемника при каждом измерении в процессе калибровки (например, в случае приемника EMI или анализатора спектра должны быть при каждом измерении выполнены частотные настройки, установки аттенюаторов, установки ширины полосы частот и других параметров);

b) требуемая измерительная установка для измерения конкретного параметра (например, с использованием ответвителей для радиоизмерений и любых других требуемых измерительных приборов);

c) требуемая точность измерительного оборудования, используемого при выполнении измерений в процессе калибровки (например, требуемая точность установки амплитуды и частоты);

d) требуемый номер измерения, которое должно быть проведено, и их последовательность. Для многих типов измерительных приемников эта последовательность является обязательной и не может быть изменена, т. к. измерения некоторых параметров требуют, чтобы были завершены измерения предыдущих параметров калибровки. Кроме того, возможно, что интерпретация результата испытаний для параметра калибровки зависит от результата предыдущего измерения в последовательности калибровки;

e) требуемые условия обстановки (например, требуемая внешняя температура и относительная влажность), если это требуется изготовителем.

Результаты измерений при калибровке могут быть сравнены с опубликованными техническими требованиями только в том случае, если используется процесс калибровки, установленный изготовителем. Следовательно, калибровочная лаборатория или испытательная лаборатория, проводящая собственные калибровки (именуемые также внутренними калибровками), должны использовать для конкретного измерительного приемника процесс калибровки, установленный изготовителем.

Если используется альтернативный процесс, то он должен быть аттестован проверяемым способом и в сертификате калибровки должно быть указано, что процесс калибровки отличается от процесса, определенного изготовителем.

К.4 Измерительный приемник

Настоящий стандарт устанавливает требования к измерительному приемнику с использованием концепции «черного ящика». Это означает, что прибор должен продемонстрировать определенный отклик при подаче на его вход определенного сигнала.

Следовательно, демонстрация соответствия измерительных приемников техническим требованиям, установленным в настоящем стандарте, может быть проведена с использованием процесса калибровки, определенного изготовителем, или процедур и измерительного оборудования, установленных в настоящем стандарте.

В случае если соответствие измерительного приемника техническим требованиям, установленным в настоящем стандарте, определено, в процесс проверки должен быть включен следующий минимальный комплект параметров, приведенный в таблице К.1.

Таблица К.1 — Суммарный комплект параметров проверки

Параметр	Подраздел CISPR 16-1-1	Предлагаемые частоты
КСВ по напряжению	4.2, 5.2, 6.2, 7.2	КСВ должен быть определен при ослаблении на входе 0 дБ и ≥ 10 дБ на следующих частотах настройки: 100 кГц, 15 МГц, 475 МГц и 8,5 ГГц
Точность измерения синусоидального напряжения	4.3, 5.4, 6.4, 7.4	Проверка на следующих частотах настройки: начальная частота, конечная частота, центральные частоты полос частот CISPR A/B/C и D/E
Импульсная характеристика	4.4, 5.5, 6.5, 7.5	Проверка на следующих частотах настройки: начальная частота, конечная частота, центральные частоты полос частот CISPR A/B/C и D/E
Избирательность	4.5, 5.6, 6.6, 7.6	Проверка на следующих частотах настройки: центральные частоты полос частот CISPR A/B/C и D/E

Параметры, приведенные в таблице К.1, применимы исключительно в полосах частот проверяемого прибора и для функций его действующих детекторов. Требования, установленные в указанных подразделах, применяют в полном объеме и с допустимыми отклонениями.

Следует отметить, что требования, установленные в настоящем стандарте, содержат полный комплект технических требований, опубликованных изготовителями. Однако в настоящем стандарте могут быть установлены некоторые требования, которые отличаются от технических требований изготовителей (например, точность частоты непрерывных колебаний в стандарте установлена с учетом совокупности амплитудной точности на опорной частоте и частотного отклика).

Если очевидность соответствия требованиям, указанным в настоящем стандарте, не может быть продемонстрирована процессом калибровки, проведенным изготовителем, из-за различий в форме установленных технических требований, то требуется проверка этих требований в испытательной лаборатории в добавление к действующей калибровке приемника, проведенной изготовителем.

К.5 Частичная калибровка измерительных приемников

Часто полные функциональные возможности измерительного приемника при проведении измерений электромагнитной эмиссии не используются. Следовательно, испытательные лаборатории по экономическим соображениям могут решить провести калибровку в отношении только тех функций, которые действительно используются при выполнении измерений.

При выполнении такой частичной или ограниченной услуги по калибровке должны быть предприняты меры предосторожности, т. к. калибровка идентифицированных функций может потребовать в качестве необходимого условия проведения калибровки других функций. Такие зависимости функций должны быть определены испытательной лабораторией или калибровочной лабораторией на основе обзора процедуры калибровки, проведенной изготовителем. Если испытательная лаборатория не имеет доступа к процедуре калибровки изготовителя, данный обзор должен быть потребован от калибровочной лаборатории в рамках приобретенных услуг по калибровке.

К.6 Определение соответствия измерительного приемника применимым техническим требованиям

Соответствие измерительного приемника техническим требованиям изготовителя или допустимым отклонениям, установленным в стандартах CISPR, требует, чтобы результаты измерений, указанные в сертификатах калибровки, были ниже верхнего предельного значения или выше нижнего предельного значения либо были между верхним и нижним предельными значениями. Неопределенность измерений при калибровке или при проверке имеет прямое влияние на принятие решения «соответствует/не соответствует». Следовательно, неопределенность измерений должна быть учтена при определении соответствия измерительного приемника установленным к нему техническим требованиям. Применение неопределенности измерений к результату измерения может привести к одному из четырех случаев, как представлено на рисунке К.1:

a) результат измерения находится внутри установленных предельных значений с запасом, превышающим значение расширенной неопределенности измерений, применимое для прибора, проходящего калибровку;

b) результат измерения находится внутри установленных предельных значений с запасом меньшим, чем значение расширенной неопределенности измерений, применимое для прибора, проходящего калибровку;

c) результат измерения находится вне установленных предельных значений с запасом меньшим, чем значение расширенной неопределенности измерений, применимое для прибора, проходящего калибровку;

d) результат измерения находится вне установленных предельных значений с запасом, превышающим значение расширенной неопределенности измерений, применимое для прибора, проходящего калибровку, что означает несоответствие техническим требованиям.

Четыре случая на рисунке К.1 необходимо интерпретировать следующим образом:

a) — соответствие техническим требованиям;

b) и c) — результат неокончательный, сделать определенное заявление о соответствии не представляется возможным;

d) — несоответствие техническим требованиям.

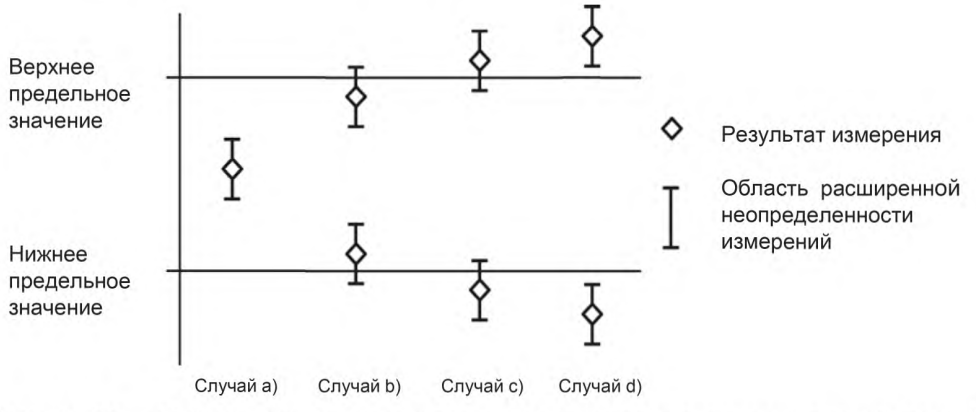


Рисунок К.1 — Процесс определения соответствия с учетом неопределенности измерений

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА. 1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
CISPR 11:2015	MOD	ГОСТ 30805.11—2002 (СИСПР 11—97) «Совместимость технических средств электромагнитная. Промышленные, научные, медицинские и бытовые (ПНМБ) высокочастотные устройства. Радиопомехи индустриальные. Нормы и методы измерений»
CISPR 14-1:2005, CISPR 14-1:2005/AMD1:2008 CISPR 14-1:2005/AMD2:2011	IDT	ГОСТ CISPR 14-1—2015 «Электромагнитная совместимость. Требования для бытовых приборов, электрических инструментов и аналогичных аппаратов. Часть 1. Электромагнитная эмиссия»
CISPR 16-2-1:2014	IDT	ГОСТ CISPR 16-2-1—2015 «Технические требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 2-1. Методы измерения помех и помехоустойчивости. Измерения кондуктивных помех»
CISPR 16-2-2:2010	MOD	ГОСТ 30805.16.2.2—2013 (CISPR 16-2-2:2005) «Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 2-2. Методы измерений параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости. Измерение мощности радиопомех»
CISPR 16-2-3:2010 CISPR 16-2-3:2010/AMD1:2010 CISPR 16-2-3:2010/AMD2:2014	IDT	ГОСТ CISPR 16-2-3—2016 «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 2-3. Методы измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерения излучаемых помех»
CISPR TR 16-3:2010 CISPR TR 16-3:2010/ AMD1:2012 CISPR TR 16-3:2010/ AMD1:2015	—	*
IEC 60050-161:1990 IEC 60050-161:1990/AMD1:1997 IEC 60050-161:1990/AMD2:1998 IEC 60050-161:1990/AMD3:2014 IEC 60050-161:1990/AMD4:2014 IEC 60050-161:1990/AMD5:2015	—	*

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты.

Библиография

[1] CISPR 15 — Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment
(Нормы и методы измерения характеристик радиопомех от электрического осветительного и аналогичного оборудования)

[2] CISPR 16-1-2:2014 — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus — Coupling devices for conducted disturbance measurements
(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 1-2. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Устройства связи для измерения кондуктивных помех)

[3] CISPR 16-1-3:2004 — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 1-3: Radio disturbance and immunity measuring apparatus — Ancillary equipment — Disturbance power
(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 1-3. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Вспомогательное оборудование. Мощность помех)

[4] CISPR 16-1-4:2010 — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus — Antennas and test sites for radiated disturbance measurements
(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 1-4. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Антенны и испытательные площадки для измерения излучаемых помех)

[5] CISPR 16-1-5:2014 — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus — Antenna calibration sites and reference test sites for 5 MHz to 18 GHz
(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 1-5. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Площадки для калибровки антенн и опорные испытательные площадки для частот от 5 МГц до 18 ГГц)

[6] CISPR 16-2 (all parts) — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods
(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения)

[7] CISPR 16-2-4:2003 — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 2-4: Methods of measurement of disturbances and immunity — Immunity measurements
(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 2-4. Методы измерения помех и помехоустойчивости. Измерение помехоустойчивости)

[8] CISPR 16-4 (all parts) — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods
(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения)

[9] CISPR TR 16-4-1:2009 — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modelling — Uncertainties in standardized EMC tests
(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 4-1. Неопределенности, статистика и моделирование норм. Неопределенности при стандартизованных испытаниях ЭМС)

[10] CISPR 16-4-2:2011 — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 4-2: Uncertainties, statis-tics and limit modelling — Measurement instrumentation un-certainty
(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 4-2. Неопределенности, статистика и моделирование норм. Инструментальная неопределенность измерений)

[11] CISPR TR 16-4-3:2004 — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 4-3: Uncertainties, statistics and limit modelling — Statistical considerations in the determination of EMC compliance of mass-produced products
(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 4-3. Неопределенности, статистика и моделирование норм. Статистические рассмотрения при определении соответствия продукции массового производства требованиям ЭМС)

[12] CISPR TR 16-4-4:2007 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 4-4: Uncertainties, statistics and limit modelling — Statistics of complaints and a model for the calculation of limits for the protection of radio services
(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 4-4. Неопределенности, статистика и моделирование норм. Статистика жалоб и модель расчета норм для защиты радиослужб)

[13] CISPR 22 Information technology equipment — Radio disturbance characteristics — Limits and methods of measurement
(Оборудование информационных технологий. Характеристики радиопомех. Нормы и методы измерения)

[14] CISPR 25 Vehicles, boats and internal combustion engines — Radio disturbance characteristics — Limits and methods of measurement for the protection of on-board receivers
(Дорожные транспортные средства, лодки и двигатели внутреннего сгорания. Характеристики радиопомех. Нормы и методы измерений для защиты бортовых радиоприемных устройств)

[15] CISPR 32 Electromagnetic compatibility of multimedia equipment — Emission requirements
(Электромагнитная совместимость оборудования мультимедиа. Требования электромагнитной эмиссии)

[16] 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)

[17] ISO IEC Guide 99:2007 International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)
(Международный словарь по метрологии. Основные и общие концепции и связанные с ними термины)

[18] EN 50065-1 Signalling on low-voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148,5 kHz — Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances
(Сигнализация в низковольтных электрических установках в полосе частот от 3 до 148,5 МГц. Часть 1. Общие требования, полосы частот и электромагнитные помехи)

[19] GESELOWITZ dB. Response of ideal radio noise meter to continuous sine-wave, recurrent impulses, and random noise, IRE Transactions, RFI, May, 1961, vol. RFI-3, no. 1, p. 2—11
(Отклик идеального измерителя помех на непрерывные синусоидальные сигналы, повторяющиеся импульсы и случайный шум)

[20] RAUSCHER C. Fundamentals of Spectrum Analysis, 5th edition, 2011, ISBN 978-3-939837-01-5
(Основы спектрального анализа)

[21] SABAROFF S. Impulse excitation of a cascade of series tuned circuits, Proceedings of the IRE, December 1944, vol. 32, p. 758—760
(Импульсное возбуждение последовательных каскадов настроенных контуров)

ГОСТ CISPR 16-1-1—2016

УДК 621.396/.397.001.4:006.354 МКС 33.100.10 IDT

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, измерение радиопомех, измерительный приемник, детектор, импульсная характеристика, избирательность, распределение вероятностей амплитуд, требования, испытания, калибровка

Редактор *В.С. Кармашев*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Сдано в набор 12.12.2016. Подписано в печать 27.01.2017. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 9,77.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Набрано в ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
www.jurisizdat.ru, y-book@mail.ru

Издано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995, Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru

ВВЕДЕНИЕ 16-1-1-2016