
ЕВРАЗИЙСКИЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(EASC)

EURO-ASIAN COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(EASC)



МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТАНДАРТ

ГОСТ
CISPR 16-1-5—
202

*(Проект RU,
окончательная редакция)*

Совместимость технических средств электромагнитная

**ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
ИНДУСТРИАЛЬНЫХ РАДИОПОМЕХ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ
И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ**

Часть 1-5

**Площадки для калибровки антенн и опорные испытательные
площадки в диапазоне частот от 5 МГц до 18 ГГц**

**(CISPR 16-1-5:2014 + AMD1:2016, 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, IDT)**

**Настоящий проект стандарта не подлежит применению
до его утверждения**

Минск
Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации
202

Предисловие

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) представляет собой региональное объединение национальных органов по стандартизации государств, входящих в Содружество Независимых Государств. В дальнейшем возможно вступление в ЕАСС национальных органов по стандартизации других государств.

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

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ») и Техническим комитетом по стандартизации ТК 30 «Электромагнитная совместимость технических средств» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 202_ г. №)

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

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту CISPR 16-1-5:2014 «Технические требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-5. Площадки для калибровки антенн и опорные испытательные площадки в диапазоне частот от 5 МГц до 18 ГГц» («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», IDT), включая изменение AMD 1:2016.

Настоящее издание международного стандарта CISPR 16-1-5:2014 имеет статус основополагающего стандарта по ЭМС в соответствии с Руководством 107 МЭК «Электромагнитная совместимость. Руководство по разработке стандартов на электромагнитную совместимость».

Международный стандарт CISPR 16-1-5:2014 подготовлен Международным специальным комитетом по радиопомехам (CISPR) Международной электротехнической комиссии (IEC), Подкомитетом А «Измерения радиопомех и статистические методы».

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ 1.5 (подраздел 3.6).

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

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

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

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

Исключительное право официального опубликования настоящего стандарта на территории указанных выше государств принадлежит национальным (государственным) органам по стандартизации этих государств

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки.....	2
3 Термины, определения и сокращения	2
3.1 Термины и определения	2
3.2 Сокращения	10
4 Технические требования и методы оценки соответствия испытательных площадок для калибровки антенн CALTS и опорных испытательных площадок REFTS в диапазоне частот от 5 до 1000 МГц	11
4.1 Общие положения	11
4.2 Технические требования к испытательным площадкам для калибровки антенн CALTS	13
4.3 Технические требования к измерительным антеннам	14
4.4 Методика оценки соответствия площадок для калибровки антенн CALTS ..	19
4.5 Критерий соответствия испытательной площадки для калибровки антенн .	32
4.6 Площадка с металлической пластиной заземления для калибровки биконических антенн и настроенных диполей в диапазоне частот от 30 до 300 МГц	35
4.7 Оценка соответствия опорных площадок REFTS	37
4.8 Отчет о результатах оценки соответствия площадок CALTS и REFTS	40
4.9 Оценка соответствия площадки для калибровки биконических и дипольных антенн, а также биконической части гибридных антенн при вертикальной поляризации	43
4.10 Оценка соответствия площадки CALTS при вертикальной поляризации для калибровки штыревых антенн в диапазоне частот от 5 до 30 МГц	45
5 Методы оценки соответствия площадок на основе БЭК в диапазоне частот от 30 МГц до 18 ГГц.....	46
5.1 Основные положения.....	46
5.2 Методика оценки соответствия площадки в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц	48

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

5.3 Оценка соответствия БЭК для калибровки антенн альтернативными методами	57
5.4 Оценка соответствия БЭК для измерений диаграмм направленности свыше 1 ГГц	59
6 Методы оценки соответствия площадок, используемых для калибровки направленных антенн	60
6.1 Оценка соответствия площадок для калибровки антенн с уменьшением уровня отражений от подстилающей поверхности за счет подъема антенн на высоту не менее 4 м	60
6.2 Оценка соответствия площадок для калибровки антенн с уменьшением уровня отражений от подстилающей поверхности за счет использования радиопоглощающих материалов	64
7 Оценка соответствия площадки методом сравнения коэффициентов калибровки антенны и применение метода опорной площадки RSM для оценки вклада неопределенности измерений площадки, реализованной в полубезэховой камере SAC	65
7.1 Использование метода эталонной антенны SAM для оценки соответствия площадки путем сравнения коэффициентов калибровки антенны	65
7.2 Применение метода опорной площадки RSM для оценки вклада неопределённости измерений площадки, реализованной в полубезэховой камере SAC	67
Приложение А	71
Приложение В	81
Приложение С	92
Приложение D	124
Приложение Е	131
Приложение F	134
Приложение ДА	137
Библиография	138

Введение

Настоящий стандарт регламентирует порядок оценки соответствия испытательных площадок для калибровки измерительных антенн требованиям, предъявляемым в настоящем стандарте, в диапазоне частот от 5 МГц до 18 ГГц. Методики калибровки измерительных антенн изложены в ГОСТ CISPR 16-1-6. Под калибровкой антенны понимают измерения ее коэффициента калибровки.

Из-за технических трудностей снижения уровней отражений электромагнитных волн от подстилающей поверхности в диапазоне частот от 30 до 200 МГц основная задача пластины заземления испытательных площадок сводится к созданию нормированных условий для калибровки дипольных, биконических и гибридных антенн в диапазоне частот, в котором их диаграммы направленности в Н-плоскости являются однородными. Коэффициент калибровки антенны в свободном пространстве, F_a , для дипольных антенн может быть измерен в свободном пространстве на частотах свыше 200 МГц. Для обеспечения воспроизводимости результатов измерений на различных площадках для калибровки антенн (далее - CALTS) и возможности исключения отражений от земли за счет математической обработки, используется плоская металлическая пластина заземления.

Требования к конструкции CALTS приведены в Приложении А. Нормируемые характеристики, методики их измерений и критерии соответствия CALTS приведены в Разделе 4. Представленные в настоящем стандарте методы измерений характеристик CALTS основаны на применении эталонных дипольных антенн, характеристики которых можно определить расчетным методом. Принципы проектирования таких антенн приведены в Приложении В, а теоретические основы и методы расчета потерь, вносимых испытательной площадкой, приведены в Приложении С и Приложении D.

Процедуры оценки соответствия испытательных площадок для калибровки измерительных антенн других типов приведены в Разделах с 5 по 7. В тех случаях, когда метод калибровки антенны учитывает отражения от земли, применяется площадка CALTS. Методы оценки соответствия испытательных площадок обобщены в таблице 1 со ссылкой на соответствующие методы калибровки измерительных антенн по ГОСТ CISPR 16-1-6.

Все методы оценки соответствия испытательных площадок включают измерения вносимых потерь SIL между двумя антеннами. Чрезвычайно важно, чтобы

ГОСТ CISPR 16-1-5—202*(Проект RU, окончательная редакция)*

при выполнении измерений на площадке отражения от опор измерительных антенн не оказывали влияния на их результаты; соответствующие указания см. в разделе А.3.

Т а б л и ц а 1 - Методы оценки соответствия испытательных площадок с указанием номера подраздела

№ п/п	Тип площадки	Метод оценки соответствия площадки по ГОСТ CISPR 16-1-5 Номер подраздела	Метод калибровки антенн по ГОСТ CISPR 16-1-6 Номер подраздела	Диапазон частот, МГц	Тип антенны	Поляризация	Примечание
1	CALTS для штыревых антенн	4.10	G.1	от 5 до 30	Штыревая	ВП	С допуском ± 1 дБ
2	CALTS или ПБЭК*	4, 7.2	8.4	от 30 до 1000	Биконическая, ЛПДА, гибридная	ГП	Метод эталонной площадки
3	CALTS или ПБЭК	4	9.2.2	от 30 до 300	Биконическая, гибридная, дипольная	ГП или ВП	На большой высоте или с поглотителем на земле
4	БЭК	5.3.2	9.2.2	от 30 до 300 от 60 до 1000	Биконическая, гибридная, дипольная Биконическая, дипольная	ГП	
5	REFTS CALTS	4.7 4.9	9.3	от 30 до 300	Биконическая, гибридная	ВП	
6	Свободное пространство	6.1	9.4.2 9.4.3	от 200 до 18000	ЛПДА, гибридная, рупорная	ВП	ГП на большой высоте
7	Свободное пространство	6.2	9.4.4	от 200 до 18000	ЛПДА, гибридная, рупорная	ВП (или ГП)	С поглотителем на земле
8	БЭК	5.3.3	9.5	от 1000 до 18000	Рупорная, ЛПДА	ГП или ВП	
9	БЭК	5.3.2	9.2 и 9.4	от 140 до 1000	ЛПДА, гибридная	ГП или ВП	
10	CALTS	4.6	В.4, В.5	от 30 до 300	Биконическая, дипольная	ГП	
11	Площадка, свойства которой были определены путем сравнения с проверенной площадкой	7.1 (исключая 5.3 БЭК)	A.9.4	от 30 и выше	Любая, кроме штыревой и рамочной	ГП или ВП	В основном, используется для метода эталонной антенны и БЭК для определённого типа антенн и частот, кроме 5.3

* - CALTS – это площадка без отражающих предметов и, если установленная на ней антенная мачта и ее конструктивные элементы оказывают незначительные влияния на результаты измерений, сама испытательная площадка потенциально обеспечивает результаты измерений, которые согласуются с теоретическими расчетами в пределах допустимого отклонения 0,5 дБ. Однако, при измерениях в полубезэховых камерах (ПБЭК) важно, чтобы критерий соответствия в 1 дБ не был обусловлен только одной составляющей из-за отражений от стен, т.к. имеют место и иные частные составляющие, такие как отражения от антенных мачт и наводки на кабельных сборках.

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

Совместимость технических средств электромагнитная

**ТРЕБОВАНИЯ К АППАРАТУРЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ
ИНДУСТРИАЛЬНЫХ РАДИОПОМЕХ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ И
МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ**

Часть 1-5

**Площадки для калибровки антенн и опорные испытательные площадки в
диапазоне частот от 5 МГц до 18 ГГц**

Electromagnetic compatibility of technical equipment.
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

Дата введения –

1 Область применения

Эта часть CISPR 16 определяет требования к площадкам в диапазоне частот от 5 МГц до 18 ГГц, предназначенным для калибровки измерительных антенн в соответствии с ГОСТ CISPR 16-1-6. В нем также указаны требования к опорным испытательным площадкам (reference test sites – REFTS), которые используются для оценки соответствия испытательных площадок для проведения испытаний технических средств на электромагнитную совместимость (compliance test sites – COMTS) в диапазоне частот от 30 до 1000 МГц в соответствии с ГОСТ CISPR 16-1-4.

Он имеет статус базового стандарта ЭМС в соответствии с Руководством МЭК 107 «Электромагнитная совместимость – Руководство по составлению публикаций по электромагнитной совместимости».

Технические характеристики используемых средств измерений приведены в CISPR 16-1-1 [1] и CISPR 16-1-4. Дополнительная и справочная информация о неопределенности измерений приведена в ГОСТ CISPR 16-4 [3], которой необходимо руководствоваться на этапе расчета неопределенности измерений при калибровке антенн, а также неопределенности измерений и оценке соответствия площадок.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

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

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 помех и помехоустойчивости и методы измерения – Часть 1-4: Устройства для измерений радиопомех и помехоустойчивости – Антенны и испытательные площадки для измерений излучаемых помех)

CISPR 16-1-4:2010/AMD 1:2012

CISPR 16-1-6:2014, Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – EMC antenna calibration (Требования к аппаратуре для измерений параметров промышленных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-6 Средства и методы измерений характеристик антенн для испытаний на электромагнитную совместимость)

CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016

IEC 60050 (all parts), International Electrotechnical Vocabulary (available at <http://www.electropedia.org/>) (Международный электротехнический словарь, все части)

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применяются термины и определения, приведенные в IEC 60050, а также термины в соответствии со следующими определениями.

3.1.1 Антенны

3.1.1.1 **Антенна** (antenna) – Техническое устройство для преобразования энергии электромагнитного поля в радиочастотные колебания в фидерном тракте и

обратно.

Примечание – В настоящем стандарте для антенн, у которых симметрирующее устройство является неотъемлемой конструктивной частью, термин «антенна» включает симметрирующее устройство.

3.1.1.2 Биконическая антенна (biconical antenna) - симметричная антенна, образованная двумя коническими излучающими элементами, имеющими общую ось, и смежными вершинами, через которые они запитываются.

Примечание – Для использования в УКВ диапазоне биконические антенны обычно изготавливаются из двух проволочных каркасов конической формы. Часто каждый биконический элемент имеет перекладину (перпендикулярную оси антенны), соединяющую центральный проводник и один из периферийных проводников биконуса для устранения узкополосного резонанса. Такие технические решения могут повлиять на характеристики антенны на частотах свыше 215 МГц. Для получения более подробной информации см. также А.4.3 CISPR 16-1-6:2014.

3.1.1.3 Широкополосная антенна (broadband antenna) – антенна, обладающая необходимыми характеристиками в широком диапазоне частот.

3.1.1.4 Расчетная (рассчитываемая, поддающаяся расчету) антенна (calculable antenna) – дипольная (как правило) антенна, коэффициент калибровки которой и вносимые потери SIL между парой таких антенн могут быть рассчитаны с использованием аналитических или численных методов (например, метод моментов) на основе априорной информации о размерах, комплексном сопротивлении нагрузки и геометрических параметрах, и которые могут быть подтверждены результатами измерений.

Примечание 1 – Примером расчетной антенны является антенна, указанная в Приложении В. Еще одним примером является простая рамочная антенна.

Примечание 2 – Для учета характеристик симметрирующего устройства используют результаты измерений его S-параметров, или их расчетные значения.

3.1.1.5 Рупорная антенна (horn antenna) - антенна, состоящая из отрезка волновода, стенки которого расширяются в направлении к раскрытию (апертуре).

Примечание – Пирамидальные рупорные антенны со стандартным волноводом прямоугольного сечения, как правило, используются в диапазоне СВЧ свыше 1 ГГц. Также существуют двугребневые рупорные антенны, которые отличаются широким диапазоном рабочих частот. При этом в области верхней границы этого диапазона главный лепесток амплитудной диаграммы направленности может разделяться на несколько локальных максимумов.

3.1.1.6 Гибридная антенна (hybrid antenna) – антенна, конструктивно состоящая из двух секций – логопериодической дипольной антенны и широкополосного диполя.

Примечание 1 – Самый протяженный диполь ЛПДА (см. 3.1.1.7) обычно имеет резонансную частоту около 200 МГц. В низкочастотной области конструкция антенны предусматривает подключение секции широкополосного дипольного элемента (например, биконическая антенна или токопроводящей конструкции в виде двух треугольников). В диапазоне от 30 до 200 МГц характеристики широкополосного диполя аналогичны биконической антенне, особенно в части зависимости коэффициента калибровки антенны от высоты ее подъема над поверхностью земли.

Примечание 2 – Соединитель обычно устанавливается в конце (задней части) антенны для минимизации наведенных токов на коаксиальном кабеле, подключенному к измерительному приемнику.

3.1.1.7 Логопериодическая дипольная антенна (ЛПДА) (log-periodic dipole array antenna, LPDA antenna) - антенна, содержащая решетку линейных дипольных элементов, размеры и расстояния между которыми от начала до конца антенны логарифмически увеличиваются с частотой.

3.1.1.8 Резонансный (настроенный) диполь (resonant dipole antenna, tuned dipole antenna) - антенна, состоящая из двух прямых соосных проводников одинаковой длины, расположенных концами друг к другу и разделенных небольшим зазором. При этом длина каждого проводника приблизительно равна четверти длины волны, так что на этой частоте входное полное сопротивление проволочной антенны, измеренное на зазоре, будет активным (реактивная составляющая равна нулю), что соответствует характеристикам диполя, расположенного в свободном пространстве.

Примечание – Резонансная дипольная антенна также является расчетной антенной (см. 3.1.1.4). В этом стандарте термин «линейный диполь» подразумевает «два

прямых соосных проводника», в отличие от биконической антенны или линейки диполей, как в логопериодической антенне.

3.1.1.9 Эталонная антенна STA (standard antenna) – антенна с рассчитанным или прецизионно измеренным коэффициентом калибровки.

Примечание 1 – Требуемые показатели точности достигаются с помощью расчетной антенны, такой как указано в 4.3. В качестве альтернативы эталонная антенна может представлять собой измерительную антенну, у которой коэффициент калибровки был измерен с меньшим значением неопределенности, нежели требуется для нее, например, методом трех антенн.

Примечание 2 – Эталонная антенна используется для реализации измерений методом эталонной антенны (см. 4.3.5 и т.д. CISPR 16-1-6:2014). Эталонная антенна должна обладать механической прочностью, чтобы при регулярном применении ее характеристики обладали стабильностью в пределах $\pm 0,2$ дБ. Требования к симметричности и кросс-поляризационной развязке эталонной антенны приведены в пунктах 6.3.2 и 6.3.3 CISPR 16-1-6:2014.

3.1.1.10 Симметрирующее устройство (balun) – устройство для согласования между несимметричным фидером и симметричным фидером или симметричной антенной, либо между симметричным фидером и симметричной антенной.

Примечание – Симметрирующее устройство используется, например, для соединения симметричных антенных элементов с несимметричным фидером, таким как коаксиальный кабель. Симметрирующему устройству характерно преобразование комплексного электрического сопротивления, отличное от единицы.

3.1.1.11 Измерительная антенна (test antenna) – антенна в виде резонансного диполя с симметрирующим устройством.

Примечание – Это определение предназначено только для настоящего стандарта (см. также 3.1.1.8 резонансный диполь и 3.1.1.12 излучатель (проводник) антенны). Измерительная антенна описана в разделе 4.3.

3.1.1.12 Излучатель (проводник, проволочный элемент) антенны (wire antenna) – конструкция, состоящая из одной или нескольких металлических проволок или стержней для излучения или приема электромагнитных волн.

Примечание 1 – Излучатель (проводник) антенны не содержит симметрирующего устройства.

Примечание 2 – В контексте настоящего стандарта излучатель (проводник) антенны подключается к симметрирующему устройству, образуя, таким образом, измерительную антенну (см. 3.1.1.11).

3.1.1.13 Коэффициент калибровки (AF) антенны (antenna factor, F_a) - отношение напряженности электрической компоненты плоского электромагнитного поля, воздействующего на антенну в направлении ее механической (главной) оси, к напряжению, наводимому в подключенной к антенне нагрузке, измеренное в условиях свободного пространства.

Примечание 1 – Аббревиатура AF используется в качестве основного термина для обозначения коэффициента калибровки антенны, а F_a обозначает коэффициент калибровки в осевом направлении в свободном пространстве. На AF влияет сопротивление нагрузки (обычно 50 Ом), подключенной к антенне, и зависит от частоты. На коэффициент калибровки может влиять взаимная связь антенны и пластины заземления, и его величина зависит от свойств направленности антенны. Для получения более подробной информации см. определения и положения в CISPR 16-1-6:2014.

Примечание 2 – Коэффициент калибровки имеет размерность дБ относительно 1/м [$\text{дБ}(\text{м}^{-1})$]. При измерениях излучаемых радиопомех, если известен F_a , дБ (1/м), напряженность электрического поля E , дБ (мкВ/м), может быть вычислена по результатам измерений напряжения U , дБ (мкВ), измерительного приемника, подключенного к антенне, по формуле:

$$E = U + F_a$$

3.1.2 Измерения характеристик испытательных площадок

3.1.2.1 Площадка для калибровки (calibration site) – любая площадка, на которой выполняют измерения коэффициента калибровки антенн.

Примечание – Площадки для калибровки включают CALTS (см. 3.1.2.2), на которых целенаправленно используют отражения от подстилающей поверхности, полностью безэховые камеры (см. 3.1.2.5) и открытые площадки для калибровки (см. пункт 6), на которой антенны размещаются достаточно высоко над поверхностью, чтобы уменьшить влияние отраженных от земли сигналов. Для каждой из указанных площадок уровень отражений должен

быть таким, чтобы обеспечить измерения коэффициентов калибровки антенн с требуемой точностью.

3.1.2.2 Испытательная площадка для калибровки (calibration test site; CALTS) – площадка для измерений коэффициента калибровки антенн с металлической пластиной заземления и нормированным значением вносимых потерь SIL при горизонтальной поляризации.

Примечание 1 – CALTS используются для измерений коэффициента калибровки, зависящего от высоты подъема антенны, а также для измерений коэффициента калибровки антенны в свободном пространстве методом эталонной площадки.

Примечание 2 – Оценка соответствия CALTS также может быть проведена: а) на вертикальной поляризации с использованием метода 4.7 (см. также 3.1.2.7 определение REFTS); б) для других методов калибровки антенн по CISPR 16-1-6 с использованием методов 4.9 и 4.10 (см. также Таблицу 1).

3.1.2.3 Площадка для проведения испытаний на ЭМС (compliance test site, COMTS) – площадка, обеспечивающая достоверные и воспроизводимые результаты измерений напряженности поля радиопомех от испытываемого оборудования с целью сравнения полученных результатов с установленными нормами.

Примечание – Требования к COMTS, включая методы оценки их соответствия, приведены в CISPR 16-1-4.

3.1.2.4 Свободное пространство (free space) – условия, при которых влияние любого источника переотражений, включая подстилающую поверхность, на сигналы прямого распространения между двумя антеннами ниже заданного уровня неопределенности измерений коэффициента калибровки F_a .

3.1.2.5 Полностью безэховая камера, безэховая камера, БЭК (fully-anechoic room, FAR) – корпус, шесть внутренних поверхностей которого облицованы радиопоглощающим материалом, обеспечивающим ослабление падающего на него электромагнитного поля в заданном диапазоне частот.

Примечание – к БЭК для калибровки антенн предъявляют более жесткие требования в части однородности поля, нежели к БЭК для измерений электромагнитных помех по CISPR 16-1-4. Если внешние радиопомехи ухудшают требуемое соотношение сигнал/шум,

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

то БЭК реализуют в экранированном корпусе. Критерии оценки соответствия испытательной площадки на основе БЭК приведены в настоящем стандарте.

3.1.2.6 Идеальная открытая испытательная площадка (ideal open-area test site, **ideal OATS**) – испытательная площадка на открытой местности с идеально ровной, идеально проводящей пластиной заземления бесконечной площади и без источников отражений, кроме пластины заземления.

Примечание 1 – Идеальная открытая испытательная площадка OATS - это теоретическое понятие, которое используется при расчете нормализованных значений вносимых потерь SIL для площадок с пластиной заземления.

Примечание 2 – Для площадки типа OATS абсолютное значение коэффициента отражения пластины заземления $\Gamma = 1$, а разность фаз падающей и отраженной электромагнитных волн на пластине заземления составляет $\varphi = \pi$ радиан для горизонтальной поляризации и ноль радиан для вертикальной поляризации

3.1.2.7 Опорная испытательная площадка (reference test site, **REFTS**) – испытательная площадка с металлической пластиной заземления и нормированным значением вносимых потерь SIL при горизонтальной и вертикальной поляризации.

3.1.3 Другие термины

3.1.3.1 Измерительный приемник (measuring receiver) – средство измерений, такое как перестраиваемый приемник, анализатор спектра или приемная часть векторного анализатора электрических цепей, которое удовлетворяет требованиям частотной избирательности и линейности соответствующего метода калибровки.

Примечание – Под измерительным приемником можно также понимать полнофункциональный векторный анализатор электрических цепей. В настоящем стандарте понятие «сигнал» означает гармоническое колебание радиочастоты с постоянной амплитудой. При измерениях коэффициента калибровки антенн и оценке соответствия испытательных площадок это определение является модификацией определения, содержащегося в CISPR 16-1-1 [1] и CISPR 16-2-3 [2].

3.1.3.2 Нуль (null) – сигнал с минимальной амплитудой, являющийся результатом векторного сложения прямого и отраженных от земли сигналов в приемной антенне, и при этом его уровень значительно ниже результата синфазного

сложения этих сигналов.

Примечание 1 – Значительное уменьшение уровня сигнала в направлении оси (по направлению распространения радиоволн) некоторых двугребневых рупорных антенн иногда называют нулем. Определение «нуль», приведенное в настоящем стандарте, к таким случаям не относится.

Примечание 2 – Стандарты IEC 60050-726:1982, 726-02-07 регламентируют минимум стоячей волны – узел – как пространственная точка в среде распространения, в которой векторная сумма нормируемой характеристики поля двух волн, создающих стоячую волну, является минимальной.

3.1.3.3 Затухание площадки (site attenuation, SA) – минимальное значение вносимых потерь площадки SIL, измеренное между парой согласованных по поляризации антенн, расположенных над токопроводящей пластиной заземления на площадке для калибровки, в условиях, когда одна антенна перемещается вертикально в заданном интервале высот, а другая установлена на фиксированной высоте и неподвижна.

Примечание – Термины «вносимые потери площадки SIL» (см. 3.1.3.4) и «затухание площадки SA» описывают по существу одно и то же измерение, однако термин затухание площадки (SA) используется в контексте поиска минимальных значений вносимых потерь площадки (SIL) между парой антенн, когда одна из них перемещается по высоте над пластиной заземления.

3.1.3.4 Вносимые потери площадки (site insertion loss, SIL) – ослабление между парой согласованных по поляризации антенн, полученное в условиях, когда прямое электрическое соединение между выходом генератора сигналов и входом измерительного приемника, выполненное с помощью радиочастотных кабельных сборок и аттенюаторов, замещается на пару антенн – передающую и приемную, размещенных особым образом на площадке для калибровки.

Примечание 1 – В этом стандарте символ A_{ic} обозначает теоретическое значение вносимых потерь SIL в дБ (с – calculated, т.е. рассчитанный), а символ A_{im} означает измеренные вносимые потери SIL в дБ (m – measured, т.е. измеренный).

Примечание 2 – Символ A_i использует A в качестве условного обозначения ослабления, а нижний индекс i обозначает вносимые (A – attenuation, i - insertion); для A_i нижний

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

индекс не следует путать с использованием в настоящем стандарте i в качестве индексного символа, например $i=1, 2, 3$.

Примечание 3 – Вносимые потери площадки SIL, A_i , дБ, рассчитываются как разность в логарифмических единицах между двумя значениями напряжений U_{DIRECT} и U_{SITE} , выраженных в дБ (мкВ), которые были последовательно измерены при прямом подключении генератора к приемнику и при подключении к ним передающей и приемной антенн, соответственно:

$$A_i = U_{DIRECT} - U_{SITE}$$

Вносимые потери площадки SIL означают ослабление, то есть конфигурация антенн, при которой обеспечивается минимальное значение потерь SIL (см. также 3.1.3.3 затухание площадки), означает наибольшее значение уровня принимаемого сигнала.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте используются следующие сокращения.

AF – коэффициент калибровки антенны

AUC – измеряемая антенна (антенна, у которой измеряется коэффициент калибровки)

DRH – двугребневая рупорная антенна

EM - электромагнитный

EMC – электромагнитная совместимость

EUT – объект испытаний

HP – горизонтальная поляризация

MoM – метод моментов

NSA – нормализованное затухание площадки

NSIL – нормализованные вносимые потери площадки

OATS – открытая испытательная площадка

RF – радиочастота

RSM – метод опорной площадки

RSS – корень из суммы квадратов

SAC – полубезэховая камера

SAM – метод эталонной антенны

SSM – метод эталонной площадки

TAM – метод трех антенн

VNA – векторный анализатор электрических цепей

VP – вертикальная поляризация

VSWR – коэффициент стоячей волны по напряжению

4 Технические требования и методы оценки соответствия испытательных площадок для калибровки антенн CALTS и опорных испытательных площадок REFTS в диапазоне частот от 5 до 1000 МГц

4.1 Общие положения

Этот пункт определяет технические требования и методы оценки соответствия для испытательных площадок, предназначенных для измерений коэффициента калибровки антенн над токопроводящей плоской металлической поверхностью в диапазоне частот от 5 до 1000 МГц. Площадку, отвечающую этим требованиям в горизонтальной поляризации, определяют как испытательную площадку для калибровки CALTS. Площадка для калибровки CALTS, отвечающая предъявляемым требованиям не только в горизонтальной, но и в вертикальной поляризации, может быть применена в качестве опорной испытательной площадки REFTS. Оценка соответствия площадки CALTS в вертикальной поляризации для калибровки штыревых антенн описана в 4.10.

Примечание 1 – Методы оценки соответствия площадок CALTS и REFTS одинаковы, однако, CALTS применяются для калибровки антенн, тогда как REFTS используются в качестве опорной площадки для оценки соответствия площадок COMTS для испытаний на электромагнитную совместимость. Исходя из этого, к характеристикам REFTS применяются более мягкие требования, нежели к площадкам CALTS.

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

Примечание 2 – Метод оценки соответствия CALTS при вертикальной поляризации приведен в 4.7.3. Оценка соответствия площадок при горизонтальной поляризации выполняется для того, чтоб убедиться в том, что пластина заземления достаточно плоская и токопроводящая, и эта проверка в равной степени применима как к горизонтальной, так и к вертикальной поляризации. Однако, при вертикальной поляризации уровни отражений от антенных опор и кабелей могут быть большими, поэтому проверка CALTS при вертикальной поляризации необходима при выполнении работ по калибровке антенн, использующих вертикальную поляризацию.

Примечание 3 – Для площадок, на которых метод SSM используется только для калибровки антенн ЛПДА, т.е. для направленных антенн, дипольные антенны не являются необходимыми для оценки их соответствия. Для этих целей подходит использование метода опорной площадки RSM (например, см. CISPR 16-1-4) с парой антенн ЛПДА. Однако площадка, которая проверяется с помощью диполей, будет удовлетворять критерию соответствия площадки, требуемому для SSM, выполняемого с парами, состоящими из трех антенн ЛПДА.

Метод оценки соответствия SAC для целей калибровки антенн с использованием метода опорной площадки RSM (RSM описан в CISPR 16-1-4) приведен в 7.2.

Приложения к настоящему стандарту содержат информационный материал по CALTS и по рассчитываемому диполю, который используется при оценке соответствия CALTS. Приложения подробно описывают аналитическую модель для расчета теоретических значений вносимых потерь SIL с использованием резонансных дипольных (настроенных дипольных) антенн с численными примерами, а также контрольный список (чек-лист) для процедуры оценки соответствия. В приложениях также описывается метод моментов (MoM) для вычисления потерь SIL между парой широкополосных расчетных дипольных антенн, из которых может быть получен коэффициент калибровки антенны AF.

Примечание 4 – Практической реализации раздела 4 в значительной степени способствует использование, например, программного обеспечения CAP2010 [24], как описано в С.2.

4.2 Технические требования к испытательным площадкам для калибровки антенн CALTS

4.2.1 Общие положения

Типовая площадка CALTS представляет собой:

- плоскую токопроводящую металлическую поверхность (отражающая пластина);
- пространство, окружающее эту поверхность, свободное от отражающих элементов.

Кроме того, необходимо следующее вспомогательное оборудование:

- две антенные мачты;
- кабельные сборки, которые будут подключены к этим антеннам;
- средства измерений, такие как генератор СВЧ сигналов, измерительный приемник или векторный анализатор цепей.

Технические требования, предъявляемые к площадкам CALTS, приведены в 4.2.2 (с соответствующим критерием соответствия в 4.5.3). Приложение А содержит ряд сведений и используется в качестве руководства по изготовлению и размещению площадок CALTS таким образом, чтобы критерии соответствия были соблюдены.

В Приложении А также приводится подробная информация о дополнительных методах оценки соответствия площадок CALTS предъявляемым требованиям (например, А.4).

4.2.2 Технические требования

Испытательная площадка для калибровки антенн CALTS должна соответствовать требованиям 4.5.3. Диапазон частот от 30 до 1000 МГц может быть разделен на поддиапазоны в том случае, если CALTS используется для калибровки антенн в этих поддиапазонах.

Соответствие площадки предъявляемым требованиям на всех 24 номиналах частоты от 30 до 1000 МГц таблицы 3 (см. 4.4.3.1), полученное по результатам измерений с расчётными диполями (см. 4.4.4), означает, что пластина заземления имеет достаточные размеры, плоскостность и проводимость и в достаточной степени

свободна от переотражений на этих 24 частотах. Оценка соответствия площадки предъявляемым требованиям на других частотах калибровки антенн, полученное либо с применением расчетных диполей или методом опорной площадки (RSM) в соответствии с 4.4.5, показывает, существуют ли отклонения в электрических характеристиках CALTS, обусловленные, например, отражениями от препятствий, таких как здания, провода, заборы и деревья, а также антенные мачты и кабели.

Если калибровку антенн или измерения опорных значений SIL выполняют на вертикальной поляризации, такая площадка CALTS должна соответствовать критерию 4.7.3.5.

Примечание 1 – Более строгая оценка соответствия площадки CALTS, приведенная в А.4, предусматривает измерения минимального значения сигнала (нуля) при сканировании антенны по высоте, либо при перестройке по частоте.

Примечание 2 – При оценке соответствия площадки CALTS применяют оборудование, к которому также предъявляются определённые технические требования по 4.3 и 4.4.

Примечание 3 – Отчет об оценке соответствия площадки CALTS установленным в настоящем стандарте требованиям (см. 4.8) должен содержать информацию о том, каким образом при эксплуатации площадки поддерживается соответствие этим требованиям.

4.3 Технические требования к измерительным антеннам

4.3.1 Общие положения

Для расчета теоретических значений вносимых потерь A_{ic} , которые используются при оценке соответствия той или иной площадки, требуются антенны, характеристики которых могут быть достаточно точно смоделированы. Исходя из этого, измерительная антенна должна представлять собой диполь, соединенный с симметрирующим устройством с заданными свойствами. Нормируемые характеристики измерительной антенны приведены в разделе 4.3.2. Пример ее конструкции приведен в приложении В.

Измерительная антенна состоит из симметрирующего устройства и двух коллинеарных проволочных элементов (проводников), каждый из которых имеет диаметр D_{WE} , и длину L_{WE} . Эти элементы подключены к двум зажимам (А и В на рисунке 1) симметрирующего устройства. Зазор между этими зажимами имеет ширину

W_g . Длина антенны L_a от кончика до кончика определяется как $L_a = 2L_{WE} + W_g$. Центр измерительной антенны находится в середине зазора между зажимами на центральной линии двух коллинеарных проволочных элементов.

Симметрирующее устройство имеет несимметричный порт ввода/вывода (передающая/приемная антенна) и симметричный порт на двух зажимах А и В. Простейшим симметрирующим устройством является симметрирующий трансформатор, схематично представленный на рисунке 1.

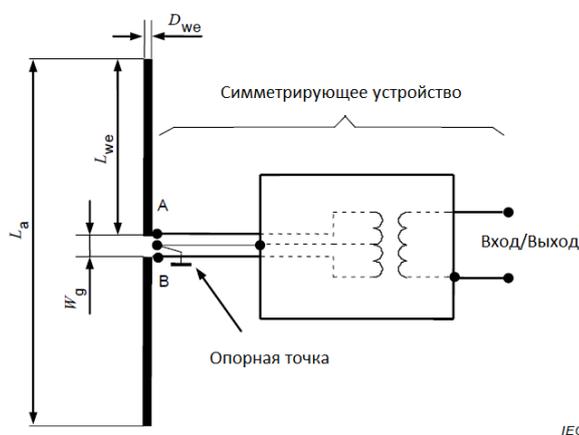


Рисунок 1 – Схема измерительной антенны

4.3.2 Нормируемые характеристики измерительных антенн, применяемых для оценки соответствия площадок

В таблице 2 величина ΔX определяет максимальное допустимое отклонение характеристик антенны от номинальных значений X .

Т а б л и ц а 2 – Допустимые отклонения для $d = 10$ м

Характеристика антенны (X)	Допустимое отклонение (ΔX)	Номер подраздела стандарта
L_a	$\pm 0,0025 L_a$ или $\pm 0,001$ м если $L_a \leq 0,4$ м	4.3.2 г)
D_{WE}	$\pm 0,0025 D_{WE}$	4.3.1
Z_{AB}	КСВН $\leq 1,1$	4.3.2 д) 1)
A_b	$\pm 0,3$ дБ *	4.3.2 д) 2)
φ_b	$\pm 4^\circ$ *	4.3.2 д) 3)
d	$\pm 0,04$ м	4.4.2.3
h_t	$\pm 0,01$ м	4.4.2.4

элементов над идеальной пластиной заземления или в свободном пространстве, при этом для тонких проволочных элементов соответствие лучше, чем 0,05 дБ (см. С.1.1). Также вычисления методом моментов были проведены для случая широкополосного проволочного элемента фиксированной длины [12], [23]. Установлено, что применение линейных элементов обеспечивает требуемую неопределённость измерений SIL (см. Примечание 4), но проволочные элементы антенны могут быть и другой конфигурации, например, открытая система биконических элементов (т.е. биконические элементы не замкнуты), при условии, что они дают те же или лучшие показатели точности измерений.

в) Зазор между зажимами питания диполей антенны должен быть достаточно мал, чтобы измеренные и теоретические значения вносимых потерь SIL между двумя резонансными диполями одинаковой длины отличие составляло не более 0,4 дБ.

Примечание 4 – Условие $SIL < 0,4$ дБ выполняется при зазоре $W_g = 9$ мм в диапазоне частот от 30 до 599 МГц и $W_g = 3$ мм в диапазоне частот от 600 МГц до 1 ГГц.

г) Если длина реальной проволочной антенны $L_a(f)$ находится в пределах ΔL_a длины $L_a(f)$, указанной для этой антенны (см. Таблицу 2), полагается, что эта длина соответствует норме и антенна может быть использована при оценке соответствия площадки, при условии, что зазор между зажимами питания диполей этой антенны соответствует пункту в).

д) Симметричный порт симметрирующего устройства должен иметь:

- 1) полное сопротивление Z_{AB} с КСВН менее допустимого отклонения, указанного в таблице 2, при подключении к несимметричному порту внешней цепи (кабель питания антенны) с полным сопротивлением Z_E (см. Примечание 6).
- 2) симметрию амплитуд относительно опорной точки симметрирующего устройства лучше, чем ΔA_b , дБ (см. Таблицу 2), когда оба порта питания имеют полное сопротивление $Z_{AB}/2$ относительно опорной точки симметрирующего устройства.
- 3) Симметрию фаз ($180^\circ \pm \Delta\varphi_b^0$) (см. Таблицу 2), когда оба порта питания имеют полное сопротивление $Z_{AB}/2$ относительно опорной точки симметрирующего устройства.

Примечание 5 – Соединители на портах согласующего устройства должны обеспечивать возможность выполнять высокочастотные измерения на его трех портах. Например, в местах соединения проволочных антенных элементов можно использовать

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

нажимные соединители типа SMA.

Примечание 6 – Полное сопротивление Z_E внешней цепи обычно составляет 50 Ом, что является предпочтительным значением. Z_{AB} – это полное сопротивление на зажимах симметрирующего устройства в точках А и В, подключаемых к двум плечам диполя, как показано на рисунке 1. Предпочтительным значением этого полного сопротивления является $Z_{AB} = 100$ Ом (действительная часть), т.е. 50 Ом для каждого из портов А и В.

Примечание 7 – Выполнение требований к симметрии амплитуды и фазы означает, что сигналы на зажимах питания А и В равны по амплитуде и противоположны по фазе относительно опорной точки симметрирующего устройства. Когда симметричный порт соответствует этим требованиям, развязка между двумя жабимами питания будет составлять более 26 дБ при нагрузке несимметричного порта на полное сопротивление Z_e .

Примечание 8 – На практике элементы симметрирующего устройства необходимо ориентировать таким образом, чтобы обеспечить минимальную отражающую поверхность в плоскости поляризации самой антенны.

Примечание 9 – Элементы конструкции симметрирующего устройства должны быть экранированы таким образом, чтобы внешние электромагнитные воздействия не влияли на его свойства. Опорная точка симметрирующего устройства и клемма заземления выходного/входного порта должны быть подключены к этому экрану. Примером симметрирующего устройства является гибридный ответвитель на 3 дБ с противофазными выходами.

е) Характеристики симметрирующего устройства по 4.3.2 д), могут быть определены по результатам измерений его S-параметров и, частично, по результатам измерений вносимых потерь площадки. В тех случаях, когда характеристики симметрирующих устройств включены в расчет вносимых потерь площадки A_i , соединение симметрирующих устройств измерительных антенн друг к другу по 4.4.4.2.1 и 4.4.4.2.3 (т.е. для вносимых потерь; см. рисунок 3) может быть заменено соединением друг к другу кабельных сборок, при условии, что все S-параметры симметрирующих устройств известны.

Примечание 10 – Рассогласования между симметрирующими устройствами, генератором и приемником, при необходимости, можно уменьшить с помощью дополнительных согласующих аттенюаторов.

Примечание 11 – Измерения S-параметров и вносимых потерь описаны в В.3.1 и В.3.3, соответственно.

ж) Если при оценке соответствия площадки CALTS измерительные антенны и/или

средства измерений имеют Z_{AB} и/или Z_e , отличающиеся от предпочтительных значений 100 Ом и 50 Ом, соответственно, это должно быть четко указано в отчете об оценке соответствия площадки (см. 4.8).

4.4 Методика оценки соответствия площадок для калибровки антенн CALTS

4.4.1 Общие положения

Методика оценки соответствия площадок CALTS предусматривает сравнение измеренных значений вносимых потерь площадки A_{im} с теоретическим значением вносимых потерь A_{ic} идеальной открытой площадки OATS (см. 3.1.2.6). Таким образом проверяют, соответствуют ли действительные свойства площадки CALTS расчетам вносимых потерь SIL.

В процессе измерений вносимых потерь SIL происходит одновременная оценка влияния всех факторов, приводящих к отличию физически реализованной площадки от идеальной открытой площадки OATS. К ним относятся характеристики пластины заземления, такие как кривизна (отличие профиля пластины от плоской поверхности), геометрические размеры, величина коэффициента отражения, а также влияние сторонних отражающих предметов. При этом применяются измерительные антенны (см. 4.4.4), размещаемые на фиксированных высотах, после чего сравнивают результаты измерений SIL с теоретическими значениями.

Оценка влияния кривизны и размеров пластины заземления, разности фаз прямой и отраженных волн, влияния сторонних отражающих предметов может дополнительно проведена при измерениях вносимых потерь SIL путем перестройки частоты сигнала или изменения (сканирования) высоты подъема антенны (см. А.4).

В следующих подразделах при оценке соответствия площадки предъявляемым требованиям значение $\pm \Delta X$ – это допустимое отклонение величины X . Количественные характеристики допустимых отклонений приведены в таблице 2.

4.4.2 Установка измерительного оборудования

4.4.2.1 Центры измерительных антенн, антенных мачт и коаксиальных кабелей, подключаемых к антеннам, расположены в плоскости, перпендикулярной отражающей

поверхности, и расположенной по ее центру.

Примечание 1 – Центр измерительной антенны определен в 4.3.1 (еще см. рисунок 1).

4.4.2.2 Во время измерений проволочные элементы антенны должны располагаться параллельно отражающей поверхности (т.е. в горизонтальной поляризации; т.е. перпендикулярно (вертикальной) плоскости, упомянутой в 4.4.2.1).

На нижней границе частотного диапазона, например, от 30 до 40 МГц, относительно длинные проволочные элементы могут провисать, что оказывает влияние на результаты измерений. Это влияние может быть устранено физически, т.е. путем установки опор для проволочных элементов, либо это влияние должно быть учтено при расчете теоретических значений вносимых потерь площадки.

4.4.2.3 Расстояние между центрами измерительных антенн в горизонтальной плоскости должно быть:

$$d = 10,00 \text{ м} \pm \Delta d \text{ м} (\Delta d \text{ в соответствии с таблицей 2}).$$

4.4.2.4 Передающая антенна устанавливается на высоте (от центра антенны до отражающей поверхности):

$$h_t = 2,00 \text{ м} \pm \Delta h_t \text{ м} (\Delta h_t \text{ в соответствии с таблицей 2}).$$

4.4.2.5 Высота установки приемной антенны (от центра антенны до отражающей поверхности) должна быть регулируемой с учетом $h_r \pm \Delta h_r$, как описано в таблице 3 (4.4.3.1) и таблице 2 (4.3.2).

4.4.2.6 Коаксиальные кабели, подключаемые к симметрирующим устройствам передающей и приемной антенн, должны укладываться перпендикулярно проволочным элементам антенны и параллельно отражающей поверхности на расстоянии не менее 1 м от проволочных элементов. После этого кабельные сборки могут опускаться вертикально вниз к отражающей поверхности и (предпочтительно) прокладываться под отражающей плоскостью или поверх нее перпендикулярно проволочным элементам, пока сборки не достигнут края этой поверхности. Когда кабели частично проходят под отражающей плоскостью, проводящая оболочка кабеля должна быть прикреплена (на 360° вокруг) к отражающей поверхности в месте соединения с ней.

Там, где рассогласование известно или наиболее вероятно, рекомендуется использовать ферритовую нагрузку на коаксиальные кабели, подключенные к симметрирующим устройствам, для уменьшения синфазных помех. Метод количественной оценки влияния отражения кабеля приведен в A.2.3 CISPR 16-1-6:2014, результатом которого может быть уменьшение измерительного расстояния менее 5 м, или дополнительная составляющая неопределенности измерений коэффициента калибровки антенны.

Примечание 2 – Использование кабелей с низким переходным сопротивлением экрана (т.е. с хорошей эффективностью экранирования) может существенно снизить влияние на результаты измерений наведенных на кабеле токов.

Примечание 3 – Когда положения настоящего раздела 4.4.2 применяются для подготовки к измерениям с антеннами на вертикальной поляризации, например, в соответствии с пунктом 4.7, применяются аналогичные требования по компоновке кабелей; см. также раздел 4.7.3.3.

4.4.2.7 Если измерительный генератор и измерительный приемник находятся ближе 20 м от измерительных антенн, то они не должны подниматься выше уровня отражающей поверхности.

4.4.2.8 Измерительный генератор должен обладать хорошей стабильностью частоты и уровня выходного сигнала на всем интервале измерений вносимых потерь площадки; см. еще 4.4.4.2.3.2.

Для обеспечения достаточной долговременной стабильности оборудования в длительность измерения может быть включено время прогрева (обычно, указанное производителем оборудования, например, один час) измерительного генератора и приемника.

4.4.2.9 Измерительный приемник должен обладать линейностью, измеренной в динамическом диапазоне не менее 50 дБ; см. также 4.4.4.2.1.3. Дополнительная составляющая неопределённости измерений из-за нелинейности измерительного приемника обозначается как ΔA_r (т.е. используется в 4.5.2.2); допустимое значение для неопределённости измерений из-за нелинейности измерительного приемника составляет 0,2 дБ.

Если линейный участок динамического диапазона составляет менее 50 дБ, то можно использовать метод замещения калиброванным прецизионным аттенюатором, как описано в 4.4.4.3.2.

4.4.3 Номиналы частот для измерений и высота подъема приемной антенны

4.4.3.1 Дополнительно к требованиям 4.2.2 измерения характеристик испытательных площадок при оценке их соответствия по 4.4.4, должны проводиться не менее чем на 24 частотах, указанных в CISPR 16-1-4, в диапазоне от 30 до 1000 МГц, т.е. перечисленных в таблице 3. При этом номиналы высот подъема приемной антенны h_r , м, над отражающей поверхностью фиксированы, что также указано в таблице 3. Если площадка используется для калибровки антенн по CISPR 16-1-6, методика измерений ее характеристик также должна включать измерения с перестройкой частоты, описанные в 4.4.5.

Т а б л и ц а 3 – Частоты и соответствующие им номиналы высот подъема приемной антенны для измерений вносимых потерь SIL, при высоте подъема передающей антенны $h_t = 2$ м и расстоянии между ними $d = 10$ м (требования изложены в 4.4.2.3 и 4.4.2.4)

Частота, МГц	h_r , м	Частота, МГц	h_r , м	Частота, МГц	h_r , м
30	4,00	90	4,00	300	1,50
35	4,00	100	4,00	400	1,20
40	4,00	120	4,00	500	2,30
45	4,00	140	2,00	600	2,00
50	4,00	160	2,00	700	1,70
60	4,00	180	2,00	800	1,50
70	4,00	200	2,00	900	1,30
80	4,00	250	1,50	1000	1,20

4.4.3.2 Частота выходного сигнала генератора, подключаемого к передающей антенне, должна регулироваться в пределах Δf (см. таблицу 2) относительно номинала частоты, установленного в таблице 3 или в А.4.

4.4.3.3 Если узкополосные помехи, например, от радиовещательных станций, препятствует точному измерению на частоте, указанной в 4.4.3.1 и А.4, должна быть выбрана другая частота для измерений, максимально близкая к требуемой.

Обоснование отклонения от заданной частоты должно быть отражено в отчете об оценке соответствия площадки (см. 4.8).

4.4.4 Измерения вносимых потерь площадки SIL

4.4.4.1 Основные положения

В разделе 4.4.4 описаны три измерения, обозначенные как Измерение 1, Измерение 2 и Измерение 3, необходимые для определения значений измеренного SIL, A_{im} (критерии соответствия см. в разделе 4.4.3.1) на конкретных частотах. Вносимые потери SIL оцениваются между зажимами питания передающей антенны (A и B на рисунках 3 и 4) и зажимами питания приемной антенны (C и D на рисунках 3 и 4).

В случаях, когда известны все S-параметры симметрирующего устройства (как описано в 4.3.2 е), они должны быть включены в расчет теоретического SIL (см. С.2.4); этот подход позволяет получить более низкие значения неопределенности. В этом случае SIL определяется при соединении двух кабельных сборок/симметрирующих устройств (схема показана на рисунке 3).

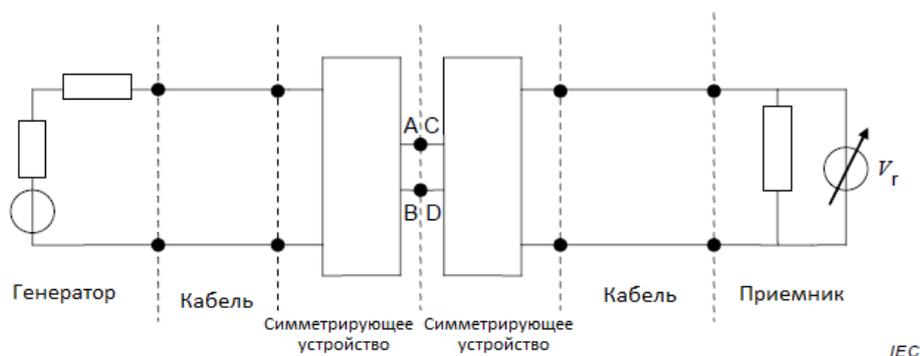
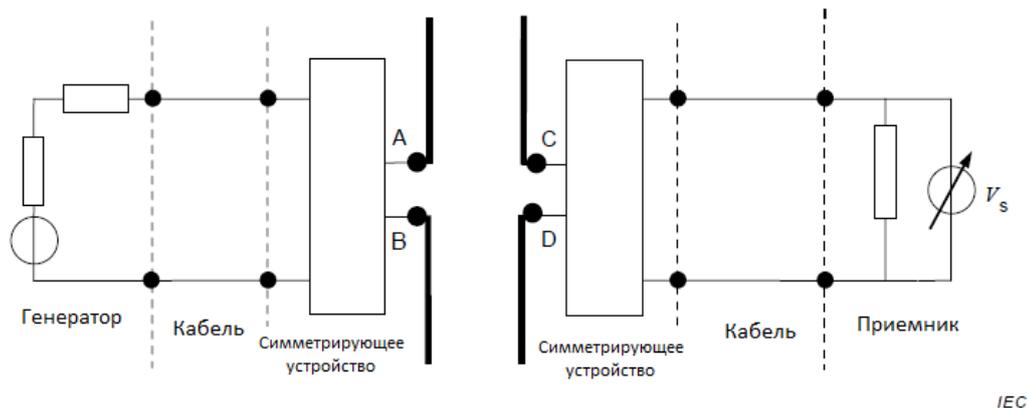


Рисунок 3 – Определение $U_{r1}(f)$ и $U_{r2}(f)$



IEC

Рисунок 4 – Определение $U_s(f)$ с антенными элементами, установленными в штатных местах

4.4.4.2 Измерения 1, 2, 3 для определения SIL

4.4.4.2.1 Измерение 1

4.4.4.2.1.1 На фиксированной частоте f измеряется опорное значение напряжения $U_{r1}(f)$.

Это напряжение используется для учета ослабления сигнала между выходом измерительного генератора и зажимами питания передающей антенны и, аналогично, между зажимами питания приемной антенны и входом измерительного приемника.

4.4.4.2.1.2 Опорное значение напряжения $U_{r1}(f)$ определяется следующим образом.

Проволочные элементы измерительных антенн отсоединяются от их симметрирующих устройств. Далее оба симметрирующих устройства соединяются друг с другом коротким соединителем, вносимые потери которого должны учитываться – см. рисунок 3.

4.4.4.2.1.3 Уровень выходного сигнала генератора устанавливается таким образом, чтобы показания приемника были по меньшей мере на 60 дБ выше уровня его собственных шумов. Показания приемника в логарифмическом масштабе записываются как $U_{r1}(f)$.

Уровень собственных шумов измерительного приемника может быть снижен за счет уменьшения его полосы пропускания. Однако, если измерительный генератор и приемник не имеют частотной синхронизации, как в случае перестраиваемого генератора (т.н. трекинг-генератор) и анализатора спектра, полоса пропускания приемника должна быть достаточно широкой, чтобы возможная нестабильность частоты выходного сигнала генератора не влияла на результаты измерений.

Примечание – Уровень сигнала при Измерении 1, по крайней мере, на 34 дБ превышающий уровень собственных шумов приемника, дает приемлемое значение неопределенности; см. также 6.2.3 CISPR 16-1-6:2014. В таблице С.1 значение SIL на частоте 1000 МГц составляет 42,71 дБ, поэтому ослабление, включая кабели и аттенюаторы, вероятно, составит не менее 60 дБ; если этот сигнал менее чем на 34 дБ превышает уровень шумов приемника, расстояние между антеннами может быть уменьшено до минимум 2λ и/или неопределенность из-за влияния ограниченного динамического диапазона может быть увеличена.

4.4.4.2.1.4 При использовании метода S-параметров, указанного в 4.4.4.1, при измерениях $U_{r1}(f)$ и $U_{r2}(f)$ в 4.4.4.2.3 все измерительные антенны отсоединяются, а два антенных кабеля соединяются между собой.

4.4.4.2.1.5 Уровень выходного сигнала генератора, используемого в 4.4.4.2.1, на заданной частоте не должен изменяться на протяжении всех измерений по 4.4.4.2.2 и 4.4.4.2.3.

4.4.4.2.2 Измерение 2

Симметрирующие устройства отсоединяют друг от друга, а проволочные элементы подсоединяют к ним (см. рис. 4). Выбирают элементы требуемой длины $L_a(f)$. Измерительные антенны устанавливают в положение, указанное в 4.4.2 и 4.4.3. Все остальные условия в испытательной установке аналогичны 4.4.4.2.1.

Примечание – Предпочтительны элементы фиксированной длины с постоянным диаметром. Телескопические элементы имеют различный диаметр и приведут к большей неопределенности при расчете вносимых потерь A_i [см. 4.3.2 б) Примечание 2].

На частоте измерений f и при заданном положении антенн показания приемника записываются как $U_S(f)$. Следует обратить внимание на то, чтобы создаваемое

электромагнитное поле не превышало уровней, разрешенных радиочастотными службами.

4.4.4.2.3 Измерение 3

4.4.4.2.3.1 Для Измерения 3 измерение опорного напряжения по 4.4.4.2.1 повторяют на той же частоте; результат записывают как $U_{r2}(f)$.

4.4.4.2.3.2 Если измеренные значения $U_{r1}(f)$ и $U_{r2}(f)$ отличаются более, чем на 0,2 дБ, необходимо проверить стабильность всей измерительной системы, а предыдущие Измерение 1, Измерение 2 и Измерение 3 повторить.

4.4.4.2.3.3 Причиной нестабильности также может быть температурная зависимость коэффициента передачи коаксиального кабеля, особенно под воздействием прямых солнечных лучей. Интервалы времени между измерениями $U_{r1}(f)$ и $U_{r2}(f)$, а также $U_S(f)$ должны быть минимальны.

4.4.4.3 Обработка результатов измерений SIL

4.4.4.3.1 На основе результатов измерений 1, 2 и 3 по формуле (1) вычисляют измеренное значение вносимых потерь SIL, $A_{im}(f)$.

$$A_{im}(f) = U_{ra}(f) - U_S(f), \text{ дБ} \quad (1)$$

где $U_{ra}(f)$ – среднее арифметическое между $U_{r1}(f)$ и $U_{r2}(f)$.

4.4.4.3.2 Если динамический диапазон измерительного приемника не соответствует 4.4.2.9, может быть использован следующий метод замены при условии, что известны все S-параметры симметрирующего устройства, а его свойства включены в расчет теоретического значения SIL.

а) Выполните измерения $U_S(f)$, как описано в 4.4.4.2.2 (Измерение 2).

б) Замените измерительные антенны откалиброванным прецизионным аттенюатором и подключите оба антенных кабеля к этому аттенюатору. Отрегулируйте вносимые потери, вызванные аттенюатором, до уровня $A_{im1}(f)$ таким образом, чтобы показания приемника были равны значению $U_S(f)$, измеренному на шаге а). Запишите $A_{im1}(f)$ и связанную с ним неопределенность измерений $\Delta A_{im1}(f)$.

в) Чтобы подтвердить стабильность измерительной установки (как указано в 4.4.2.8), повторите шаг б) для определения $A_{im2}(f)$ через интервал времени, приблизительно равный общему времени между измерением $U_S(f)$ на шаге а) и $A_{im1}(f)$ на шаге б). Если $A_{im2}(f)$ отличается более чем на 0,2 дБ от $A_{im1}(f)$, стабильность измерительной установки должна быть улучшена, и этапы а), б) и в) необходимо повторить.

г) Если измерительная установка стабильна, измеренное значение вносимых потерь $A_{im}(f)$ определить по формуле:

$$A_{im}(f) = A_{im,a}(f), \text{ дБ} \quad (2)$$

где $A_{im,a}(f)$ – среднее арифметическое между $A_{m1}(f)$ и $A_{m2}(f)$.

4.4.4.3.3 Если меры для предотвращения провисания проволочных элементов обеих измерительных антенн предприняты не были, необходимо скорректировать значение вносимых потерь A_{im} (см. 4.4.2.2).

4.4.5 Измерения вносимых потерь SIL с перестройкой частоты

4.4.5.1 Основные положения

Оценка соответствия испытательной площадки, на которой измерения коэффициентов калибровки антенн будут выполняться с меньшими частотными интервалами, чем указано в таблице 3 (например, при перестройке частоты), должна выполняться путем измерений с дискретной перестройкой по частоте с использованием пары рассчитываемых дипольных антенн. В таблице А.1 приведен пример четырех диполей, используемых для перекрытия диапазона частот от 30 до 1000 МГц. Максимальные интервалы перестройки частоты должны быть такими, как показано в таблице 4. В качестве альтернативы оценка соответствия может быть выполнена с помощью метода опорной площадки RSM по CISPR 16-1-4. При этом опорная площадка должна соответствовать критерию $T_{SIL}(f) < 0,7$ дБ для использования в уравнении (5) (см. 4.5.3) при измерениях по частотам таблицы 3. Оценка соответствия площадки с реализацией метода перестройки частоты позволяет выявить отражения от таких конструкций, как опоры антенн и кабели, а также от любых близлежащих отражающих объектов, например, зданий.

Т а б л и ц а 4 – Шаг перестройки частоты при реализации метода опорной площадки RSM

Диапазон частот, МГц	Максимальный шаг перестройки частоты, МГц
от 30 до 100	1
от 100 до 500	5
от 500 до 1000	10

При реализации измерений с перестройкой частоты вносимые потери SIL между двумя рассчитываемыми дипольными антеннами измеряются на расстоянии между ними 10 м. Антенны размещаются в горизонтальной поляризации на высотах, указанных в таблице 5. Термины «Антенна 1» и «Антенна 2» в заголовках столбцов обозначают пару идентичных антенных элементов, функционирующих в диапазонах частот, приведенных в каждой строке таблицы 5. При перестройке частоты фазовые соотношения между прямым и отражёнными от земной поверхности сигналами меняется, что приводит к появлению нулей (определено в 3.1.3.2). Достоверность результатов оценки соответствия площадки снижается в таких нулях, однако на уровнях до 10 дБ ниже максимума принимаемого сигнала там, где частота сигнала наиболее близка к частоте нулевого значения, эта достоверность приемлема. Пример частотной зависимости нормализованных потерь SIL (NSIL) показан на рисунке 5 [на основе уравнения для напряженности поля $e_0(i, j|H)$ в 7.4.1.2.1 CISPR 16-1-6:2014] для случая двух горизонтально поляризованных диполей Герца на высоте 2 м.

Примечание – Нормализованные вносимые потери площадки (NSIL) – это вносимые потери площадки SIL минус коэффициенты калибровки AF_s обеих антенн.

Диапазоны частот в таблице 5 выбраны исходя из свойств четырех диполей, перечисленных в таблице А.1. Для других конструкций диполей с различными диапазонами рабочих частот в пределах от 30 до 1000 МГц могут быть оптимальными другие высоты, т.е. уровни сигнала на границах поддиапазона близки к максимальному. По этой причине в таблице 5 показан диапазон от 600 до 1000 МГц, также разделенный на два поддиапазона – строки 5 и 6 альтернативны неразрывному диапазону, указанному в строке 4. При измерениях следует избегать использования минимальной высоты в 1 м из-за влияния основания мачты на результаты измерений; предпочтительно, чтобы у основания мачты не было двигателя. Значения нормализованных вносимых потерь NSIL для строк 1, 2, 3, 5 и 6 таблицы 5 показаны на 28

рисунке 6, на котором видно отсутствие нулей.

Т а б л и ц а 5 (для информации) – Высота подъема антенн при измерениях вносимых потерь площадки SIL

Номер п/п	Диапазон частот, МГц	Высота подъема Антенны 1, м	Высота подъема Антенны 2, м
1	от 30 до 100	4,0	4,0
2	от 100 до 300	2,0	2,35
3	от 300 до 600	1,5	1,4
4	от 600 до 1000	1,5	1,97
5	от 600 до 750*	1,5	1,1
6	от 750 до 1000*	1,5	1,8

* Примечание – Строки 5 и 6 – альтернативный вариант для диапазона частот от 600 до 1000 МГц, указанного в строке 4

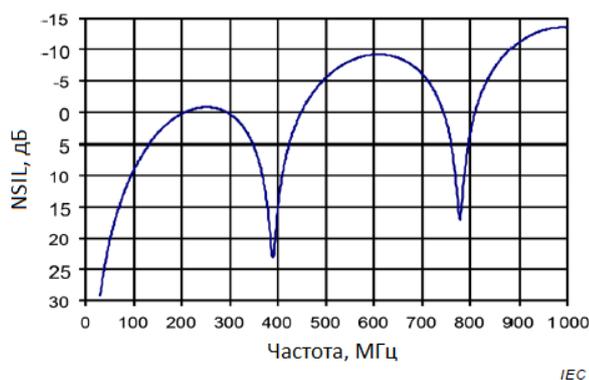


Рисунок 5 – Пример частотной зависимости нормализованных вносимых потерь NSIL для высоты антенны 2 м и измерительном расстоянии 10 м

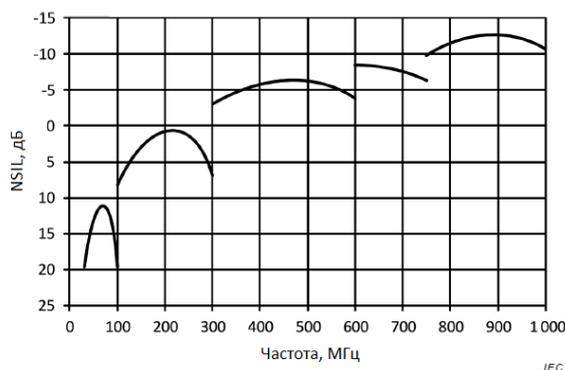


Рисунок 6 – Частотная зависимость нормализованных вносимых потерь NSIL между парой рассчитываемых диполей на измерительном расстоянии 10 м и альтернативными номиналами высот для диапазона частот от 600 до 1000 МГц в соответствии с таблицей 5

Основная цель измерений SIL с перестройкой по частоте состоит в том, чтобы подтвердить собственные характеристики площадки, а не включать в результаты их измерений влияние радиопрозрачных антенных мачт; следует использовать мачты, изготовленные из тонкостенных диэлектрических труб и с минимальным количеством металлических деталей. В то же время результаты валидации площадок COMTS в соответствии с CISPR 16-1-4 включают влияние антенных опор и кабелей, а также оснастку, необходимую для проведения испытаний в части излучаемых радиопомех.

4.4.5.2 Методика измерений

Производится два различных измерения напряжения, U_R .

а) Первое измерение U_R (т.е. U_{DIRECT}) выполняется с помощью двух коаксиальных кабелей, отсоединенных от двух антенн и соединенных друг с другом через адаптер.

б) Второе измерение U_R (т.е. U_{SITE}) выполняется при повторном подключении коаксиальных кабелей к соответствующим антеннам. Для двух измерений уровень источника сигнала должен быть постоянным. Предпочтительно использовать векторный анализатор электрических цепей.

в) Значение SIL вычисляется по формуле (3). Все величины выражены в логарифмических единицах.

$$A_{im} = U_{DIRECT} - U_{SITE} \quad (3)$$

г) Измеренный SIL, A_{im} , сравнивается с теоретическим SIL, A_{ic} , рассчитанным с использованием С.2.4.1 для заданных номиналов высот антенн, измерительного расстояния и поляризации на каждой частоте. Испытательная площадка для калибровки антенн CALTS соответствует предъявляемым требованиям по уровню вносимых потерь SIL, если на всех частотах, используемых для калибровки антенн, критерий соответствия составляет $T_{SIL}(f) = 1,0$ дБ, где $T_{SIL}(f)$ зависит от неопределённости измерений в соответствии с уравнением (5) (см. 4.5.3).

д) На частотах, где разница между измеренным и теоретическим значениями SIL превышает $\pm 1,0$ дБ (вероятно, будут выделяться как резонансы на графике частотной зависимости SIL), должны быть выполнены дополнительные исследования и проверки.

1) На каждой выбранной частоте для максимального уровня сигнала должны быть зафиксированы SIL и высота подъема антенн. Значение SIL должно быть рассчитано с использованием той же геометрии антенны.

2) Причины, приводящие к разнице более $\pm 1,0$ дБ, должны быть исследованы. Для начала необходимо увеличить расстояние между антенной и мачтой и/или радиочастотной кабельной сборкой. Возможные влияния антенной мачты и кабелем, необходимо проверить (например, см. 4.4.6), прежде чем рассматривать испытательную площадку как причину установленных несоответствий.

Более чувствительным методом измерений характеристик площадки является определение частоты, на которой формируется нуль, с применением критериев соответствия А.4; см. также соответствующую ссылку в 4.2.2 на дополнительные измерения по А.4.

4.4.6 Выявление отражений от антенной мачты и методы их уменьшения

Как упоминалось, например, в Примечании 2 к пункту 4.1, причиной несоответствия площадки установленным критериям могут быть отражения от антенной мачты, а не сама площадка (см. также А.2.3 CISPR 16-1-6:2014). Локальный и интенсивный источник отражений может быть идентифицирован по четкому всплеску в результатах измерений частотной зависимости SIL. Расстояние от антенны до отражающей поверхности позади антенны определяется как $R = 300/(2\Delta f)$ в м, где Δf - интервал частот в МГц между двумя соседними пиками; эта аппроксимация зависит от разности фаз на отражающей поверхности.

Амплитуда отраженных сигналов может быть больше в измерительной схеме, в которой одинаковые антенны установлены на одинаковых мачтах на одинаковом расстоянии друг от друга. Результаты измерений могут показать, что мачта является источником интенсивных отражений, даже если антенна удалена на 2 м от вертикальной секции мачты. Отражения обычно не заметны ниже 600 МГц, но чем ближе к 1000 МГц, тем больше размеры элементов мачты сопоставимы с длиной волны, что увеличивает уровень отражений.

Одним из решений является использование радиопрозрачных

пенополистирольных блоков для установки антенн. В отчете по результатам оценки соответствия площадки должно быть указано, какие измерения необходимо выполнить для уменьшения отражений, и какая неопределенность измерений обусловлена влиянием антенных мачт. На практике разработчик испытательной площадки и потребитель (например, испытательная лаборатория) должны знать, насколько эта площадка в отдельности соответствует установленным требованиям. В то же время потребитель (например, испытательная лаборатория) должен знать, что его площадка, включающая антенные опоры, также соответствует этим требованиям. Таким образом, конструкция антенных мачт должна оказывать минимальное влияние на результаты измерений.

Влиянию отражений от антенных мачт в меньшей степени подвержены направленные антенны, такие как логопериодические и рупорные. Отражения, в основном, характерны дипольных антенн, установленных в положение, соответствующее вертикальной поляризации (т.е. с равномерными диаграммами направленности в Н-плоскости).

4.5 Критерий соответствия испытательной площадки для калибровки антенн

4.5.1 Основные положения

Результаты оценки соответствия площадки CALTS являются положительными, если на всех частотах, на которых впоследствии будет выполняться калибровка антенн, измеренные вносимые потери SIL (см. 4.4.3.1) находятся в определённых пределах относительно расчетных значений. Пределы указаны в 4.5.3. Помимо неопределенности измерений, эти пределы учитывают допуски, применимые при настройке измерений.

Как поясняется в 4.5.2, суммарное значение неопределенности включает составляющую, которая рассчитывается с помощью теоретической модели, и составляющую, которая непосредственно связана с неопределенностью измерений напряжения, из которых определяют вносимые потери площадки.

4.5.2 Неопределённость измерений

4.5.2.1 Неопределённость измерений ΔA_{im} вносимых потерь площадки SIL, A_{im} , рассчитываемых по формуле (1) в 4.4.4.3.1, определяется выражением:

$$\Delta A_{im} = \sqrt{(\Delta A_r)^2 + (\Delta A_t)^2}, \text{ дБ}, \quad (4)$$

где ΔA_r – это ΔA_r , дБ, в 4.4.2.9 или $\Delta A_{im1}(f)$, дБ, в 4.4.4.3.2, в зависимости от того, какой метод был применен;

ΔA_t – составляющая, учитывающая чувствительность вносимых потерь площадки к допускаемым отклонениям параметров (максимальные значения приведены в таблице 3).

В уравнении (4) должны использоваться значения ΔA_r и ΔA_t при коэффициенте охвата $k = 2$ (доверительная вероятность 0,95).

Примечание 1 – Значение ΔA_t при $k = 2$ может быть вычислено с помощью модели в Приложении С.

4.5.2.2 Если допустимые отклонения параметров соответствуют значениям, приведенным в таблице 2 (см. 4.3.2), $\Delta A_t (k = 2) = 0,2$ дБ может использоваться для всего диапазона частот от 30 до 1000 МГц. В этом случае вычисления ΔA_t выполнять не нужно, равно как и представлять результаты вычислений в отчете об оценке соответствия CALTS. В таблице 2 приведены максимальные значения допустимых отклонений; общий допуск 0,2 дБ является примером. Оцененное пользователем суммарное значение, которое может быть меньше указанного, должно использоваться для применения к рисунку 7 (см. 4.5.3).

Примечание 2 – Обоснование $\Delta A_t (k = 2) = 0,2$ дБ дано в Приложении С.1.4.3.

4.5.3 Критерий соответствия

В этом подпункте значения параметров, которые будут использоваться в расчетах, являются фактическими значениями, полученными при измерении. Предполагается, что фактические значения параметров определяются с достаточно малой погрешностью измерений, так что вывод о том, что значение параметра

находится в пределах максимально допустимого отклонения, как указано в таблице 2, является обоснованным.

Пример 1 – Если указанное расстояние между центрами антенн $d = 10,00$ м (см. 4.4.2.3) и по результатам фактических измерений при оценке SIL это расстояние равно $d_a = 10,01$ м, в расчетах используется последнее значение. Однако, $(d - d_a)$ всегда должно быть меньше $0,04$ м (см. Таблицу 2).

Площадка CALTS в части вносимых потерь SIL соответствует предъявляемым требованиям, если на всех частотах, используемых для калибровки антенн, критерий соответствия составляет $T_{SIL}(f) = 1,0$ дБ, где $T_{SIL}(f)$ зависит от неопределённости измерений в уравнении (5) (см. рисунок 7).

$$|A_{ic}(f) - A_{im}(f)| < T_{SIL}(f) - \Delta A_{im}(f), \quad (5)$$

где $A_{ic}(f)$ – расчетное значение SIL на указанной частоте, дБ, рассчитанное в соответствии с приложение С.2.4 с использованием фактических значений геометрических параметров L_a , d , h_t и h_r ; типовые значения $A_{ic}(f)$ приведены в таблице С.1;

$A_{im}(f)$ – измеренное значение SIL на указанной частоте, дБ, в соответствии с уравнением (1) (см. 4.4.4.3.1) или уравнением (2) (см. 4.4.4.3.2 г); см. также 4.4.4.3.3 о провисании протяженных диполей);

$\Delta A_{im}(f)$ – неопределённость измерений SIL ($k = 2$), дБ, в соответствии с 4.5.2.2;

$T_{SIL}(f)$ – допустимое отклонение SIL, дБ.

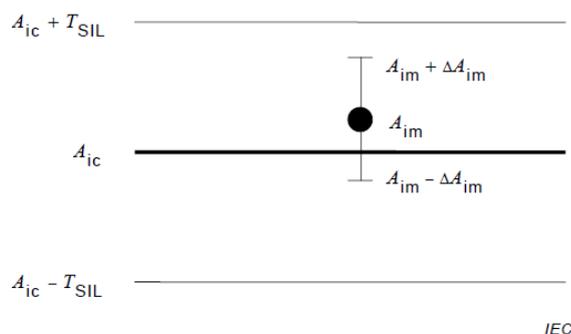


Рисунок 7 – Соотношение между величинами, используемыми в критерии соответствия SIL

В диапазоне частот от 30 до 300 МГц особое внимание уделяется пластине заземления. Отражения от антенных опор и кабелей в этом диапазоне значительно меньше по сравнению с частотами выше 300 МГц. Кроме того, легче достичь характеристик антенны, описанных в Примечании, в диапазоне от 30 до 300 МГц. В этом диапазоне желательно достичь $T_{SIL}(f) < 0,7$ дБ, чтобы было легче обеспечить неопределенность измерений коэффициента калибровки антенн F_a менее 1 дБ. Значение критерия 1,0 дБ обосновывается необходимостью учета высоких уровней отражений от антенных опор и кабелей на частотах до 1 000 МГц. Поскольку основной целью оценки соответствия площадки является проверка характеристик пластины заземления и условий свободного пространства, более жесткий критерий должен быть применен там, где влияние антенных опор и кабелей меньше.

П р и м е ч а н и е - Рассчитываемые широкополосные дипольные антенны применимы для оценки соответствия CALTS и позволяют достичь отличий между измеренным и теоретическим $SIL \leq 0,3$ дБ [23]. Это, в свою очередь, позволяет снизить неопределенность измерений коэффициента калибровки F_a .

П р и м е р 2 – Если $\Delta A_t (k = 2) = 0,2$ дБ и $\Delta A_r (k = 2) = 0,2$ дБ, применяя уравнение (4), $A_{im} (k = 2) = 0,3$ дБ. Максимально допустимая разница между рассчитанными и измеренными значениями вносимых потерь площадки может быть уменьшена за счет использования приемника с более низким значением $\Delta A_r (k = 2)$, за счет уменьшения допусков различных параметров и за счет учета фактического значения $\Delta A_t (k = 2)$.

П р и м е р 3 – При частоте 30 МГц концы антенных элементов диполя длиной 4,8 м опускается на 16 см. Значение A_{im} корректируется путем добавления 0,27 дБ, 0,13 дБ и 0,08 дБ, когда диполь находится на высоте 1 м, 2 м и 4 м соответственно, чтобы правильно сравнить A_{im} с A_{ic} . Это поправки на размеры диполей, приведенные в таблице С.1 и смоделированные с использованием NEC (см. С.2).

4.6 Площадка с металлической пластиной заземления для калибровки биконических антенн и настроенных диполей в диапазоне частот от 30 до 300 МГц

В этом подпункте приводится методика оценки соответствия площадки для калибровки биконических и дипольных антенн в диапазоне частот от 30 до 300 МГц путем усреднения зависящего от высоты коэффициента калибровки антенны, $F_a(h, p)$, по диапазону высот методом трех антенн ТАМ или методом эталонной антенны SAM,

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

как описано в В.4 CISPR 16-1-6:2014. При калибровке антенн две горизонтально поляризованные антенны размещаются на расстоянии 10 м друг от друга; одна антенна поднимается на высоту до 6 м над плоской металлической пластиной заземления, а другая устанавливается на высоте 1 м или 2 м, как описано в таблице В.1 и таблице В.2 в В.4 CISPR 16-1-6:2014. Также см. рисунки А.2 и А.3 CISPR 16-1-6:2014 для примера F_a , полученного этим методом.

Соответствие площадки для калибровки антенн должно определяться по результатам измерений SIL, выполненных следующим образом.

а) Измерения SIL должны выполняться в диапазоне частот от 30 до 200 МГц с использованием настроек, приведенных в таблице 6, и на частотах 250 МГц и 300 МГц в соответствии с 4.4.4. Теоретические значения SIL, A_{ic} , в таблице 6 являются примерами, рассчитанными с использованием симметрирующих устройств без потерь таким же образом, как в таблице С.1. Результаты SIL должны соответствовать критерию соответствия, указанному в пункте 4.5.3. Рекомендуется проводить измерения с перестройкой по частоте в соответствии с пунктом 4.4.5.

б) Измерения со сканированием по высоте антенны (см. А.4.2) и по частоте (см. А.4.3) являются необязательными; см. 4.2.2 Примечание 1.

Этот метод оценки соответствия включает и расширяет метод 4.4.4. Рекомендации по бюджету неопределенности можно получить из таблицы В.3 CISPR 16-1-6:2014.

Т а б л и ц а 6 – Настройка антенн для измерений вносимых потерь SIL площадки с использованием горизонтально поляризованных резонансных дипольных антенн (см. также 4.4.4 для SIL на частотах 250 МГц и 300 МГц)

Частота, МГц	Измерительное расстояние d, м	Высота передающей антенны, h_t , м	Высота приемной антенны, h_r , м	Теоретическое SIL A_{ic} , дБ
30	10	2	6	17,4
35	10	2	6	18,44
40	10	2	6	19,78
45	10	2	6	20,37
50	10	2	6	20,11
60	10	2	6	20,54
70	10	2	6	21,39
80	10	2	6	21,12
90	10	2	6	22,74

Частота, МГц	Измерительное расстояние d, м	Высота передающей антенны, h_t , м	Высота приемной антенны, h_r , м	Теоретическое SIL A_{ic} , дБ
100	10	2	6	24,62
120	10	2	6	26,83
140	10	1	5	27,13
160	10	1	5	27,03
180	10	1	5	27,81
200	10	1	5	29,35

4.7 Оценка соответствия опорных площадок REFTS

4.7.1 Основные положения

Руководство по изготовлению опорных площадок REFTS приведено в Приложении А. Оценка соответствия опорных площадок REFTS проводится по результатам измерений вносимых потерь площадки SIL как для горизонтальной, так и для вертикальной поляризации. Измерительная антенна для оценки SIL указана в разделе 4.3. При горизонтальной поляризации измерения SIL должны соответствовать требованиям 4.7.2. При вертикальной поляризации измерения SIL должны соответствовать требованиям 4.7.3. В качестве альтернативы, оценка соответствия REFTS может быть выполнена методом RSM по CISPR 16-1-4. Требования к отчету об оценке соответствия площадки приведены в разделе 4.8.

4.7.2 Оценка соответствия площадки при горизонтальной поляризации

4.7.2.1 Основные положения

Для реализации измерений и обработки их результатов необходимо следовать положениям 4.4 и 4.5.

4.7.2.2 Критерий соответствия при горизонтальной поляризации

Теоретические значения вносимых потерь площадки, $A_{ic}(f)$, рассчитываются в соответствии с С.2.4. Примерные значения $A_{ic}(f)$ приведены в таблице С.1. Критерий соответствия задается уравнением (5) в диапазоне частот от 30 до 1000 МГц с $T_{SIL}(f) = 1,0$ дБ. Неопределённость измерений ΔA_{im} должна оцениваться с использованием уравнения (5) в соответствии с пунктом 4.5.2.

4.7.3 Оценка соответствия площадки при вертикальной поляризации

4.7.3.1 Основные положения

Следующие положения применимы к антеннам, установленным в положение, соответствующее вертикальной поляризации в дополнение к требованиям, предъявляемым к антеннам, установленным в положение, соответствующее горизонтальной поляризации.

4.7.3.2 Требования к установке антенны и антенной мачте

Измерительное расстояние между антеннами должно составлять 10 м. Высота подъема передающей антенны (относительно ее центра) должна составлять 2 м, за исключением номиналов частот 30; 35 и 40 МГц, для которых высота подъема должна составлять 2,75 м. Номиналы частоты и высот подъема приемной антенн должны выбираться в соответствии с таблицей 7.

Т а б л и ц а 7 – Высоты подъема антенн

Частота, МГц	h_t , м	h_r , м	Частота, МГц	h_t , м	h_r , м	Частота, МГц	h_t , м	h_r , м
30	2,75	2,75	90	2,0	1,15	300	2,0	2,6
35	2,75	2,4	100	2,0	1,0	400	2,0	1,8
40	2,75	2,4	120	2,0	1,0	500	2,0	1,4
45	2,0	1,9	140	2,0	1,0	600	2,0	1,4
50	2,0	1,9	160	2,0	1,0	700	2,0	1,0
60	2,0	1,5	180	2,0	1,0	800	2,0	1,0
70	2,0	1,5	200	2,0	1,0	900	2,0	1,6
80	2,0	1,15	250	2,0	3,1	1000	2,0	1,6

h_t и h_r – высоты подъема передающей и приемной антенн, соответственно

Нижний край антенны должен находиться на высоте не менее 0,25 м над пластиной заземления. Антенная мачта должна быть изготовлена из диэлектрического материала низкой плотности (дерево или диэлектрик с $\epsilon_r < 2,5$, малыми потерями и как можно меньшим поперечным сечением, сохраняя при этом механическую прочность); должно быть обеспечено минимальное влияние мачты на характеристики антенны. Влияние мачты и горизонтальной штанги на коэффициент калибровки антенны должно оцениваться путем измерений потерь между двумя антеннами при изменении местоположения мачты относительно антенны, т.е. изменяя расстояние между антенной и вертикальной частью мачты.

Должны быть приняты меры для исключения (минимизации) влияния антенной мачты, например, путем увеличения расстояния между антенной и вертикальной частью мачты за счет установки антенны на горизонтальной штанге.

П р и м е ч а н и е – Рекомендации по уменьшению отражений от мачт см. в А.2.3 CISPR 16-1-6:2014.

4.7.3.3 Размещение кабельных сборок

Кабельные сборки могут являться дополнительными источниками отражений при соосном размещении с элементами антенны, что может привести к изменению SIL порядка ± 1 дБ, если место снижения кабеля удалено менее 0,5 м от тыльных элементов антенны. Влияние кабельных сборок можно оценить, изменяя это расстояние до тех пор, пока влияние на SIL не станет незначительным; см. 4.4.2.6. На расстоянии, окончательно выбранном для измерений, любое влияние, вызванное кабелями, будет входить в бюджет неопределенности площадки REFTS. Зажимные ферритовые фильтры, размещенные на кабельных сборках, могут уменьшить этот эффект, особенно в случаях, когда антенна имеет малоэффективное симметрирующее устройство. Кабельные сборки должны быть уложены горизонтально за антенной (перпендикулярно элементам антенны) минимум на 2 м для площадки REFTS, прежде чем опускаться на землю.

4.7.3.4 Размеры пластины заземления

В зависимости от соотношения расстояния между антеннами и расстояния до краев пластины заземления OATS могут возникать эффекты дифракции, оказывающие значительное влияние на результаты измерений. Наличие дифракционных эффектов можно наблюдать в виде регулярных быстроменяющихся колебаний, наложенных на результаты измерений частотной зависимости SIL. Эти колебания особенно проявляются в областях максимумов результатов измерений SIL (т.е. когда сигнал минимален). Если пластина заземления достаточно велика, эти эффекты можно уменьшить, разместив антенны таким образом, чтобы линия измерений (т.е. пространственное положение антенн) проходила по короткой оси испытательной площадки, а не по длинной. Дифракцию на краях также можно уменьшить, увеличив пластину заземления с помощью дополнительной проволочной сетки, соединяющей края пластины заземления по периметру с землей/грунтом. При этом для эффективности принятых мер земля/грунт должны быть достаточно влажными.

4.7.3.5 Критерий соответствия при вертикальной поляризации

Теоретические значения вносимых потерь площадки, $A_{ic}(f)$, рассчитывают в соответствии с С.2.4. Примерные значения $A_{ic}(f)$ приведены в таблице С.5. Критерий соответствия задается уравнением (5) в диапазоне частот от 30 до 1000 МГц с $T_{SIL}(f) = 1,5$ дБ. Неопределённость измерений ΔA_{im} должна оцениваться с использованием уравнения (5) в соответствии с пунктом 4.5.2.

4.8 Отчет о результатах оценки соответствия площадок CALTS и REFTS

4.8.1 В разделе 4.8 термин CALTS также применяется к REFTS. Положения пункта 4.8 не применимы к 4.9 и 4.10.

Отчет о результатах оценки соответствия площадок является документом, подтверждающим соответствие характеристик CALTS требованиям, установленным в настоящем стандарте.

4.8.2 Требования к отчету

Отчет о результатах оценки соответствия площадок CALTS должен содержать ряд пунктов, каждый из которых касается своего аспекта оценки соответствия CALTS. Каждый элемент и обоснование для включения в отчет описаны в этом подпункте. Краткий контрольный перечень вопросов (чек-лист) приводится в приложении Е.

а) Основная информация

В отчете должна быть приведена общая информация, такая как место установки площадки CALTS, владелец и т.д.

Если оценка соответствия площадки проводится другими сторонами/организациями, то должны быть указаны их реквизиты.

Должен быть описан состав CALTS, а также размещение ее вспомогательных элементов с приложением чертежей, фотографий, номеров деталей и т.д.

Кроме того, должна быть указана дата (даты) проведения оценки соответствия и дата выдачи отчета об оценке соответствия. Имена ответственных лиц за составление и утверждение отчета о проверке должны быть представлены на титульном листе, включая их подписи.

б) Определение периодичности работ по оценке соответствия и действующих ограничений

В отчете должно быть указано, что работы по оценке соответствия площадки выполняются до начала ее использования для калибровки антенн (см. 4.2.2).

В этой связи, в отчете необходимо указывать срок действия разрешительных документов на CALTS. Поскольку CALTS может быть реализована как внутри помещения, так и снаружи, указываемый срок действия документов на CALTS может отличаться в зависимости от различных факторов, таких как изменения окружающей среды, старение кабелей или старение радиопоглощающих материалов. Владелец площадки несет ответственность за своевременное проведение работ по периодической оценке соответствия CALTS.

Также при выполнении работ должны быть установлены элементы, которые могут быть изменены при использовании площадки: например, для открытых площадок – это окружающая среда, деревья, снег, влажность почвы и т.д. В целом, стабильность работы кабелей, оборудования, антенн и антенных мачт имеет большое значение. Также условия окружающей среды, старение приборов или радиопоглощающих материалов и срок действия поверки оборудования определяют срок действия разрешительных документов на CALTS.

Для оперативной оценки соответствия/повторяемости характеристик CALTS могут быть включены средства быстрых измерений или процедуры визуального контроля.

Конкретные условия или ограничения окружающей среды или конфигурации должны быть четко указаны в отчете.

в) Описание и оценка соответствия измерительных антенн

Этот пункт отчета касается оценки соответствия измерительных антенн предъявляемым требованиям.

Измерительные антенны (антенные элементы и симметрирующие устройства) должны соответствовать требованиям, приведенным в 4.3.2, и иметь характеристики, приведенные в таблице 2.

Каждая из характеристик антенны должна быть проверена на соответствие

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

визуально, либо путем измерений. Результаты оценки соответствия должны быть приведены в приложении или в отдельном документе (фотографии, результаты измерений, результаты поверки, уведомления поставщика и т.д.).

г) Размещение измерительного оборудования

В этом разделе отчета приводятся данные о конфигурации измерительного оборудования для измерений характеристик площадки. Измерительная установка должна соответствовать требованиям, приведенным в разделе 4.4.2, и обладать характеристиками в соответствии с таблицей 2.

Каждая из характеристик оборудования должна быть проверена на соответствие визуально, либо путем измерений. Результаты оценки соответствия должны быть приведены в приложении или в отдельном документе.

д) Результаты измерений

Результаты измерений SIL, выполненных в соответствии с методикой 4.4.4, на контрольных частотах и высотах антенн, приведенных в таблице 3, должны быть представлены в этом разделе отчета. Также должны быть представлены результаты при реализации измерений со сканированием антенны по высоте (см. А.4.2) или при перестройке частоты (см. А.4.3), если эти дополнительные измерения выполнялись. В этом разделе приводятся результаты оценки соответствия площадок REFTS при вертикальной поляризации, выполненные по 4.7.3.

е) Результаты расчета вносимых потерь и допустимых отклонений

В этом пункте отчета должно быть указано, рассчитана ли длина антенны с использованием алгоритмов, приведенных в Приложении С, или с использованием других численных методов. Также должны быть представлены результаты расчетов SIL и результаты расчетов неопределенности измерений с указанием использования значений по умолчанию, либо расчетных значений при отклонении от допусков, указанных в таблице 2.

ж) Результаты расчета критерия соответствия

В этом пункте отчета приводятся вычисленные и измеренные значения SIL и соответствующие допустимые отклонения и неопределенности измерений, которые используются в уравнении (5) для оценки соответствия в зависимости от частоты.

Аналогичным образом выполняется оценка соответствия либо по критерию высоты [Уравнение (A.1)], либо по критерию перестройки частоты [Уравнение (A.3)], если были выполнены соответствующие дополнительные измерения.

з) Выводы о соответствии

Если результаты измерений SIL соответствуют уравнению (5) на всех частотах и выполняются условия либо при сканировании по высоте, либо при перестройке по частоте, испытываемая площадка CALTS считается пригодной. При этом указывается периодичность контроля ее характеристик (срок действия разрешительных документов), установленные ограничения и конфигурация оборудования, приведенные в пункте б). Если доказано соответствие критериям сканирования по высоте или по частоте, приведенные в A.4, полученные результаты могут рассматриваться как дополнительное подтверждение результатов измерений SIL.

4.9 Оценка соответствия площадки для калибровки биконических и дипольных антенн, а также биконической части гибридных антенн при вертикальной поляризации

Этот подпункт регламентирует методику оценки характеристик CALTS, предназначенных для измерений коэффициента калибровки биконических антенн и биконической части гибридных антенн в диапазоне частот от 30 до 300 МГц в соответствии с пунктом 9.3 CISPR 16-1-6:2014. Определение частоты перехода для гибридных антенн описано в 6.1.2 CISPR 16-1-6:2014; см. также 5.3.2 настоящего стандарта.

Для описания компоновки антенны, в которой калибруемая антенна облучается электромагнитным полем, формируемым моноконусной антенной, см. 9.3.2 CISPR 16-1-6:2014. Конструкция моноконусной антенны приведена в A.2.4 CISPR 16-1-6:2014. Расположение моноконуса на расстоянии более 10 м гарантирует, что электромагнитное поле будет равномерным по всей апертуре калибруемой антенны (диаметр которой составляет приблизительно 0,5 м) в горизонтальной плоскости. В этой связи, измерения с перемещением в горизонтальной плоскости не выполняются.

Для измерений вариаций поля в вертикальной плоскости небольшая биконическая антенна с общим размером биконусов не более 0,44 м перемещается по

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

высоте от 1,0 до 2,6 м с шагом 20 см. Антенна должна иметь несимметрию менее $\pm 0,5$ дБ, определенную по результатам измерений симметрирующего устройства в соответствии с 4.4.2 CISPR 16-1-4:2010/AMD1:2012. Антенну размещают там, где должна быть калибруемая антенна, как описано в 9.3.2 CISPR 16-1-6:2014, уделяя особое внимание минимальному расстоянию между калибруемой антенной и вертикальной частью мачты и минимальному расстоянию 5 м до вертикальной части антенного кабеля. Используя векторный анализатор цепей в диапазоне частот от 30 до 300 МГц, измеряется S_{21} на каждом номинале высоты. Все результаты измерений S_{21} нормируются к результатам измерений на средней высоте 1,8 м. На любой частоте разница между нормированными результатами должна составлять менее $\pm 1,5$ дБ. В основном, при измерениях наблюдается уменьшение уровня поля, причем S_{21} уменьшается с увеличением высоты малой биконической антенны. Бюджет неопределенности аналогичен используемому в методе 6.1, поскольку оба метода реализуют измерения вариаций поля при сканировании по высоте.

Если разница S_{21} превышает 1,5 дБ, необходимо провести оценку влияния отражений от антенной мачты на результаты измерений. Расстояние между малой биконической мачтой и мачтой должно быть увеличено, либо мачта заменена на менее отражающую. Отражение от антенного кабеля можно исследовать, определив, влияет ли увеличение расстояния до антенны более, чем на 5 метров. Если ни одно из этих действий не приводит к выполнению необходимого условия, то можно сделать вывод, что объекты, такие как здания и деревья, находятся слишком близко к антеннам и/или пластина заземления слишком мала. Конфигурация оборудования, при которой выполняется условие $\pm 1,5$ дБ, должна быть использована для калибровки антенн.

На рисунке F.1 приведен пример уменьшения уровня поля в вертикальной плоскости при выполнении условия $\pm 1,5$ дБ. На рисунке F.2 приведен пример близости значений коэффициента калибровки антенны, измеренной этим методом, к значениям коэффициента калибровки антенны, измеренной иным методом, т.е. с использованием горизонтальной поляризации и усреднения значений коэффициента калибровки антенны, измеренной на нескольких высотах, в соответствии с В.4.2 CISPR 16-1-6:2014.

Также следует выполнить оценку соответствия площадки по пункту 4.7.3 в диапазоне частот от 30 до 300 МГц, но с использованием критерия приемлемости 1,2 дБ. Описанный в настоящем подпункте метод измерений основан на дифференциальном подходе, в то время как метод по 4.7.3 является абсолютным и

позволяет удостовериться, что площадка действительно обладает необходимыми характеристиками.

4.10 Оценка соответствия площадки CALTS при вертикальной поляризации для калибровки штыревых антенн в диапазоне частот от 5 до 30 МГц

4.10.1 Основные положения

Штыревые антенны калибруются в поле плоской волны в диапазоне частот от 5 до 30 МГц, как описано в G.1 в CISPR 16-1-6:2014. Этот метод удобен для оценки соответствия эквивалента антенны, используемой при реализации метода измерений ECSM (метод замещения эквивалентной емкостью) в 5.1 CISPR 16-1-6:2014. Площадка CALTS для калибровки штыревых антенн может отличаться от CALTS для диполей, описанных в разделе 4. Соответствие площадки определяется путем сравнения между измеренным и теоретическим значением вносимых потерь SIL между двумя штыревыми антеннами.

Две штыревых антенны устанавливаются по центру вдоль длинной оси пластины заземления на расстоянии 15 м друг от друга. Подходящие размеры штыря - длина 1 м и радиус 5 мм. Штырь должен иметь соединитель типа N (вилка) на одном конце. Для регулировки длины штыря с учетом соединителя см. C.2.5.2.1. Штырь подключается к соединителю типа N (розетка) к противовесу (экрану) штыревой антенны, а другой соединитель под противовесом (экраном) подключается к измерительному генератору или приемнику. Вносимые потери SIL измеряются между антеннами в диапазоне частот от 5 до 30 МГц с шагом 1 МГц. Значения SIL рассчитываются по методу C.2.4.2.

Разница между рассчитанным SIL и измеренным SIL, превышающая 0,5 дБ, свидетельствует о наличии интенсивных отражений от объектов вокруг площадки, таких как здания, заборы или деревья, или слишком малых размерах пластины заземления. Эта разница не должна превышать 1 дБ, что означает, что неопределенность измерений, обусловленная площадкой для калибровки антенн, не превысит 0,5 дБ. Если неопределенность измерений, обусловленная влиянием площадки может быть уменьшена, то неопределенность измерений коэффициента калибровки антенн, также может быть уменьшена.

Примечание 1 – В CISPR 16-1-6 диапазон частот для калибровки штыревых

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

антенн составляет от 9 кГц до 30 МГц. Ниже 5 МГц высокое сопротивление этих пассивных штырей значительно уменьшают уровни сигналов, поэтому оценка соответствия площадки выполняется только на частотах от 5 до 30 МГц, что является частотным диапазоном для метода измерений в поле плоской волны в G.1 CISPR 16-1-6:2014.

Примечание 2 – Для калибровки штыревых антенн по методу, приведенному в G.1 CISPR 16-1-6:2014, требуется рассчитываемая штыревая антенна STA; их коэффициент калибровки может быть рассчитан по методу C.2.5.2.1.

4.10.2 Расчет неопределённости измерений

Пример бюджета неопределенности приведен в таблице 8 для SIL, измеренного между двумя идентичными штыревыми антеннами. На относительно высоких частотах можно использовать дополнительное ослабление (согласующий аттенюатор), тем самым уменьшая рассогласование. Чтобы оценить неопределенность измерений при оценке разницы между рассчитанным SIL и измеренным SIL, предположим, что неопределенность составляет 0,2 дБ для SIL, рассчитанного с использованием NEC.

Таблица 8 – Пример бюджета неопределенности измерений вносимых потерь SIL между двумя штыревыми антеннами

Источник неопределенности или величина X_i	Значение, дБ	Закон распределения	Делитель	Чувствительность	u_i , дБ
Линейность VNA	0,15	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,087
Повторяемость соединителя	0,05	Нормальный	1	1	0,05
Рассогласование	0,2	U-образный	$\sqrt{2}$	1	0,141
Развязка антенн, ошибка 2 см на 15 м	0,01	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,005
Моделирование NEC	0,1	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,12
Суммарная стандартная неопределённость					0,211
Расширенная неопределённость ($k = 2$)					0,42

5 Методы оценки соответствия площадок на основе БЭК в диапазоне частот от 30 МГц до 18 ГГц

5.1 Основные положения

В этом разделе приведено несколько методов оценки соответствия испытательных площадок, реализованных в полностью безэховых камерах (FAR; БЭК).

а) Первый метод представлен в 5.2 и применяется для калибровки антенн от 1

до 18 ГГц, как описано в 9.5 CISPR 16-1-6:2014; этот подход определяет методику оценки рабочей зоны и критерия соответствия [4], [5].

б) Второй подход представлен в 5.3.2 и применяется для калибровки логопериодических антенн ЛПДА в диапазоне частот от 30 до 1000 МГц.

в) В подпункте 5.3.3 приведены три дополнительных альтернативных метода оценки соответствия БЭК, предназначенных для калибровки антенн:

- 1) Оценка соответствия БЭК при использовании метода эталонной антенны SAM для калибровки антенн в диапазоне частот от 30 МГц до 1 ГГц;
- 2) Метод КСВН площадки S_{VSWR} для последующей калибровки антенн ЛПДА в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц;
- 3) Оценка соответствия БЭК методом измерений во временной области выше 500 МГц.

БЭК применяют для измерений коэффициента калибровки антенн на частотах свыше 1 ГГц. На этих частотах излучаемое антенной электромагнитное поле распространяется в свободном пространстве и, в идеальном случае, только прямой сигнал от передающей антенны воздействует на приемную антенну. Все отражения должны быть минимизированы путем применения радиопоглощающих материалов, которыми облицовываются все внутренние поверхности камеры (см. Примечание). Электромагнитное экранирование БЭК должно обеспечивать сигнально-помеховую обстановку, при которой уровень помехи, попадающей в камеру, был не менее чем на 30 дБ ниже уровня полезного сигнала, при котором выполняются измерения коэффициента калибровки (см. 6.2.4 CISPR 16-1-6:2014).

Примечание – Необходимым условием для соответствия БЭК предъявляемым требованиям является то, что модуль коэффициента отражения используемого радиопоглощающего материала при нормальном падении должен быть не более -40 дБ на частоте 1 ГГц и выше. Для направленных антенн это требование может быть ослаблено в зависимости от их характеристик направленности, за исключением торцевых стенок, на которые эти антенны направлены.

Антенны, используемые для оценки соответствия площадки на частотах свыше 1 ГГц, должны быть линейно поляризованными и направленными. Пара рупоров может использоваться для измерений от 2,8 м до 3,2 м, но от 0,8 м до 1,2 м должна

использоваться пара из рупорной антенны и антенны ЛПДА, чтобы избежать интенсивных стоячих волн между ними. Обычно используются двугребневые рупорные антенны DRH, поскольку они охватывают диапазон частот от 1 до 18 ГГц.

5.2 Методика оценки соответствия площадки в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц

5.2.1 Взаимодействие двух антенн

При калибровке антенн в условиях безэховой камеры необходимо сформировать условия свободного пространства. Когда передающая антенна излучает, сигнал в каждой точке пространства на оси между двумя антеннами представляют собой суперпозицию прямого сигнала от передающей антенны и сигналов, отраженных от поверхностей камеры и других отражающих объектов, включая приемную антенну. Отклонение уровня этих сигналов от уровня сигналов антенн в свободном пространстве зависит от многих факторов, таких как частота, размер камеры, качество и площадь покрытия радиопоглощающего материала, тип антенны и отражения от опор антенны. Эти изменения в уровне принимаемого сигнала вносят непосредственный вклад в суммарную неопределённость измерений при калибровке антенны в условиях безэховой камеры.

Рабочая зона БЭК определяется для конкретной пары антенн, которая используется при калибровке, с целью достижения идеальных условий свободного пространства. Рабочая зона - это часть камеры (обычно вокруг центра), в которой выполняются требования в отношении однородности поля и в которой должна быть размещена пара антенн при калибровке.

Мощность на выходе приемной антенны обозначается как P_r , а мощность на входе передающей антенны - P_t . Поскольку изменение коэффициента усиления антенны невелико в диапазоне используемых расстояний между антеннами, можно предположить, что напряженность поля изменяется обратно пропорционально расстоянию d от антенны. Следовательно, когда на приемную антенну воздействуют только прямые сигналы от стабильного излучателя, предполагается, что значение $P_r d^2$ является постоянным вдоль оси антенны для определенной частоты в идеальной камере без отражений. Предполагается, что любые колебания значений $P_r d^2$ вызваны

нежелательными отражениями в камере. Этот эффект проявляется в виде быстроменяющихся колебаний на графике зависимости амплитуды от расстояния для заданной частоты и может быть использован для оценки качества камеры. Измерения могут быть выполнены с использованием VNA, для которого коэффициент передачи S_{21} , дБ, эквивалентен отношению уровней P_r/P_t , дБ. График зависимости $[S_{21} + 20\lg(d^2)]$ от измерительного расстояния d , иллюстрирует отражения камеры в виде колебаний, амплитуда которых сравнивается с критерием соответствия, приведенным в 5.2.4. Для достоверной оценки уровня колебаний антенна должна перемещаться в пространстве с шагом не более $\lambda/8$ на расстояние не менее 1λ в обе стороны от измерительного расстояния, используемого для калибровки антенн.

Примечание – Если интервал перемещения антенны небольшой и равный, то результаты измерений получаются более достоверным. Равные приращения позволяют добиться того, что на каждой частоте может быть сформировано колебание, обусловленное влиянием отраженного сигнала. Если приращение слишком велико, то измерения придется проводить на гораздо большем количестве частот, а результаты выводить на график и проверять, чтобы выбрать частоты, на которых эти колебания были интенсивными.

5.2.2 Методика измерений на частотах от 1 до 18 ГГц

Для оценки соответствия камеры, предназначенной для калибровки антенн методом трех антенн ТАМ, описанным в 9.5.1.3 CISPR 16-1-6:2014, должны использоваться такие же типы антенн. Одна антенна размещается в одном конце безэховой камеры, и ее главный лепесток направлен вдоль главной оси камеры. Вторая антенна, установленная на подвижной платформе, расположена на той же оси на заданном расстоянии от излучающей антенны, как показано на рисунке 8.

Измеряемая величина представляет собой размах (т.е. от максимального до минимального значения) колебания на графике зависимости уровня сигнала от измерительного расстояния. Это колебание - результат взаимодействия прямого и отраженного сигналов. Вертикальная поляризация является предпочтительной, поскольку ширина диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости уже, и обычно пол и любой напольный поглотитель являются ближайшими отражающими поверхностями; это также предполагает, что последующая калибровка антенн выполняется на вертикальной поляризации.

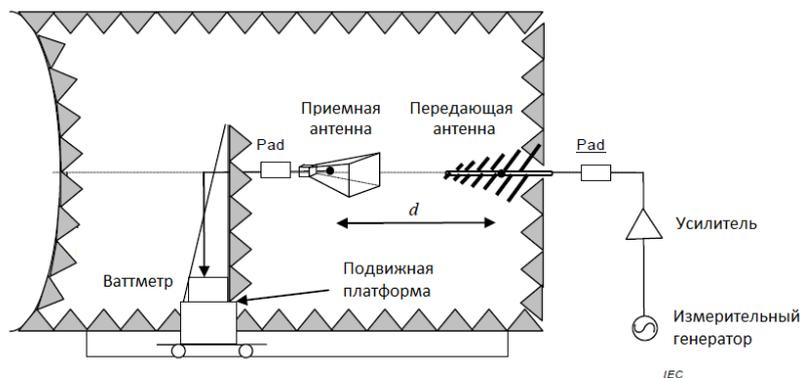


Рисунок 8 – Схема измерений при оценке соответствия площадки, реализованной в БЭК, применяемой для калибровки антенн на частотах свыше 1 ГГц (также показано расстояние между фазовыми центрами антенн)

Оценка соответствия выполняется только на наибольшем расстоянии, необходимом для калибровки антенн, в предположении, что чем ближе расположены антенны, тем меньше будут отражения от стенок относительно прямого сигнала между антеннами. Обычно, самое большое расстояние составляет 3 м. Важно, чтобы опоры антенны были надлежащим образом укрыты поглотителем, в противном случае отражения от них будут значительны на измерительном расстоянии 1 м, нежели на расстоянии 3 м. В случае сомнений, и если камера должна использоваться для калибровки на измерительном расстоянии 1 м, должны быть сделаны некоторые пробные проверочные измерения на 1 м.

Для оценки соответствия площадки в диапазоне от 2,8 до 3,2 м можно использовать пару рупоров. Однако из-за преобладания стоячей волны между рупорами на более коротких расстояниях, для диапазона от 0,8 до 1,2 м, должна использоваться пара, состоящая из одного рупора и одной антенны ЛПДА. Другим фактором является неопределённость измерений, обусловленная значительным изменением пространственного положения фазового центра некоторых двугребневых антенн DRH. Для примера конкретной пары антенн DRH/ЛПДА результаты измерений показали, что размах амплитуды колебания, обусловленного взаимодействием прямого и отраженного сигналов, составляет менее 0,2 дБ при расстоянии 3 м. Это значение включает отражения от элементов камеры, указывая на то, что в конкретном случае любая стоячая волна между антеннами незначительна.

Этот метод оценки соответствия применяется в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц, но может применяться и в любом из его поддиапазонов, в котором выполняются измерения коэффициента калибровки той или иной антенны. Приращение частоты должно составлять не более 0,5 ГГц.

Примечание – CISPR 16-1-6 рекомендует, чтобы антенны ЛПДА были откалиброваны с использованием двух рупорных антенн методом трех антенн ТАМ. Если калибровка выполняется с использованием пары ЛПДА / ЛПДА, строго говоря, камера проверяется только парой ЛПДА / ЛПДА, поскольку они будут подвергаться большему влиянию отражений из-за их более широкой диаграммы направленности. В качестве альтернативы, в бюджет неопределенности измерений добавляется составляющая, учитывающая высокие уровни отражений в камере.

Либо должна быть выполнена полная двухпортовая калибровка с помощью VNA, либо на антенных портах должны использоваться согласующие аттенюаторы. Можно использовать изогнутый под прямым углом радиочастотный соединитель (с низкими обратными потерями), чтобы избежать того, чтобы подложка и кабель были видны за апертурой антенны, если смотреть из центра другой антенны.

Если все измерения выполняются в рамках одного этапа, в котором VNA и кабели остаются нетронутыми, нет необходимости измерять коэффициент передачи кабельных сборок $S_{21\ Cable}$, с помощью которых подключаются антенны; если более одного этапа, то коэффициент передачи антенного кабеля $S_{21\ Cable}$ должен измеряться для каждого из них, а результаты измерений должны вычитаться из результатов измерений коэффициента передачи между антеннами $S_{21\ Antennas}$. Приемная антенна перемещается вдоль главной оси и измеряется $S_{21\ Antennas}$.

Необходимо обеспечить условия, при которых перемещения кабелей минимальны и все радиочастотные соединения выполнены надежно, поскольку изменения уровня принимаемого сигнала из-за этих факторов могут быть сопоставимы с уровнем измеряемых в камере отражений. Предполагая, что самая низкая частота составляет 1 ГГц, антенна перемещается в пределах минимум от 2,8 до 3,2 м между краями антенн. Интервал перемещения не должен превышать $\lambda/8$, что на частоте 18 ГГц составляет 0,002 м. При измерениях целесообразно применять автоматизированные сканирующие устройства, открытые части которых должны быть покрыты соответствующим радиопоглощающим материалом. По мере увеличения измерительного расстояния, поглотитель следует размещать на открытом полу.

5.2.3 Анализ результатов

Результаты измерений S_{21} должны быть представлены графически в виде зависимости уровня сигнала от расстояния для каждой частоты, следуя шагам, приведенным в этом подпункте. При увеличении расстояния между антеннами уровень сигнала падает обратно пропорционально расстоянию. Хотя коэффициент усиления рупорной антенны изменяется с расстоянием, эти изменения достаточно малы и ими можно пренебречь, особенно на расстоянии 3 м. Расстояние d отсчитывается между плоскостью раскрыва рупорной антенны и кончиком антенны ЛПДА.

Измерительное расстояние d должно быть скорректировано с учетом фазовых центров антенн, о чем сказано ниже. Поскольку точное положение фазовых центров антенн может быть неизвестно, графики зависимости уровня сигнала от расстояния могут иметь избыточный наклон, что затрудняет количественную оценку размаха амплитуды колебаний, обусловленных взаимодействием прямого и отраженного сигналов. Графики можно выровнять, применив экспериментально вычисленную поправку к расстоянию.

Для антенны ЛПДА может быть произведена упрощенная коррекция фазового центра с использованием уравнения (7), в отличие от двугребневых антенн DRH, для которых расчет положения фазового центра не прост. Тем не менее, рассматриваемая методика измерений позволяет получить данные для определения положения фазовых центров и описана в 7.5.3.2 CISPR 16-1-6:2014.

а) На каждой частоте необходимо один раз измерить коэффициент передачи кабельных сборок $S_{21\ Cable}$, затем для каждого измерительного расстояния необходимо измерить коэффициент передачи между антеннами $S_{21\ Antennas}$. Затем необходимо вычислить SIL как функцию расстояния, т.е. $A_{im}(d)$, как показано в уравнении (6). Возможно, не потребуется измерять $S_{21\ Cable}$, как описано в 5.2.2, поскольку $A_i(d)$, на всех расстояниях нормируется как $A_{im}(d)$ к расстоянию 3 м в б).

$$A_{im}(d) = S_{21\ Cable} - S_{21\ Antennas} + 20\lg(d) \quad (6)$$

б) Данные из а) необходимо представить в виде электронной таблицы, первый столбец которой - частота, а последующие столбцы - $A_{im}(d)$ на каждом расстоянии. Необходимо транспонировать данные так, чтобы первый столбец был расстоянием d , а последующие столбцы были $A_{im}(d)$ на каждой частоте. Это более понятно для

случая, когда вносятся поправки к положению фазового центра фазы, зависящее от частоты. Таким образом данные представляются в правильном формате для графического представления $A_{im}(d)$ на каждой частоте в зависимости от расстояния. Далее необходимо нормировать все строки к центральному расстоянию, в данном случае 3 м, т.е. $[A_{im}(d) - A_{im}(d_{3 м})]$. К каждому столбцу данных на заданной частоте необходимо применить поправку по дальности для фазового центра, используя уравнение (7), где $d_{1f radome}$ - это расстояние от кончика ЛПДА до ее фазового центра на заданной частоте. Уравнение (7) является упрощенным уравнением для фазового центра; см. 7.5.2.2 в CISPR 16-1-6:2014 для объяснения $d_{1f radome}$. Поскольку для оценки уровней колебаний, вызванных отражениями в камере, не требуется высокой точности в измерении расстояния между антеннами, предполагается, что длина антенны ЛПДА равна расчетной активной длине, d_{LPDA} , в диапазоне частот измерений, если только нет информации о фактическом расположении дипольных элементов.

$$d_{1f radome} = \frac{f_{max}^{-1} - f^{-1}}{f_{max}^{-1} - f_{min}^{-1}} d_{LPDA} \quad (7)$$

где f_{max} и f_{min} - максимальная и минимальная расчетные частоты антенны, а f - частота, на которой требуется коррекция.

в) Постройте график зависимости $A_{im}(d)$ от расстояния d на всех частотах на одном графике. Если средняя линия, проходящая через отдельный график на заданной частоте, не является горизонтальной, это указывает на то, что поправки в а) для расстояния и б) для фазового центра ЛПДА являются недостаточными.

Примечание 1 – Экспериментальным путем коррекция может быть применена ко всем значениям $A_{im}(d)$ на конкретной частоте, т.е. к столбцу частоты в электронной таблице. Когда график становится горизонтальным, коррекция может дать полезную информацию о фазовых центрах антенн или изменении коэффициента усиления с расстоянием, особенно если оценка соответствия площадки выполняется на расстоянии около 1 м. Поправка, увеличивающая расстояние, означает, что фазовый центр находится за плоскостью апертуры рупора. В случаях, когда размах амплитуды невелик, например, 0,2 дБ для пары рупор-ЛПДА, этот процесс может быть недостоверным. Однако, он достоверен там, где между антеннами формируется устойчивая стоячая волна, как в случае пары рупор-рупор. Следует также отметить, что компьютерное моделирование *Nařima* [26] указывает на то, что могут возникать большие вариации положения фазового центра двугребневых антенн DRH в зависимости от частоты.

г) Проведя анализ полученных зависимостей, можно оценить размах колебаний, вызванных отражениями в камере, на каждой частоте. Если график не совсем горизонтальный, через его центр следует провести прямую линию, а соседние максимумы и минимумы измерить от этой прямой линии. В пределах измерительного расстояния наибольшее соседнее максимально-минимальное значение сравнивается с критерием соответствия. Пример графиков зависимости $A_{im}(d)$ от расстояния в определённом диапазоне частот показан на рисунке 9. Поправки к фазовому центру ЛПДА, примененные к рисунку 9, варьировались от 0,27 м на частоте 1 ГГц до 0,0 м на частоте 18 ГГц. На всех частотах была применена однократная коррекция в 0,12 м позади плоскости апертуры рупора; вероятно, она должна быть больше на частотах 1 и 2 ГГц.

Примечание 2 – Данные на рисунке 9 были взяты с шагом 0,02 м в диапазоне от 2,8 до 3,2 м, и очевидно, что этого шага явно недостаточно на частотах свыше 6 ГГц для образования пиков и нулей. Однако 1,5 цикла формируются на частоте 1 ГГц, что указывает на то, что это может быть достаточным диапазоном. Наибольший разброс наблюдается на частотах 1 и 2 ГГц, что частично обусловлено более широкой диаграммой направленности антенны DRH на нижней границе ее частотного диапазона.

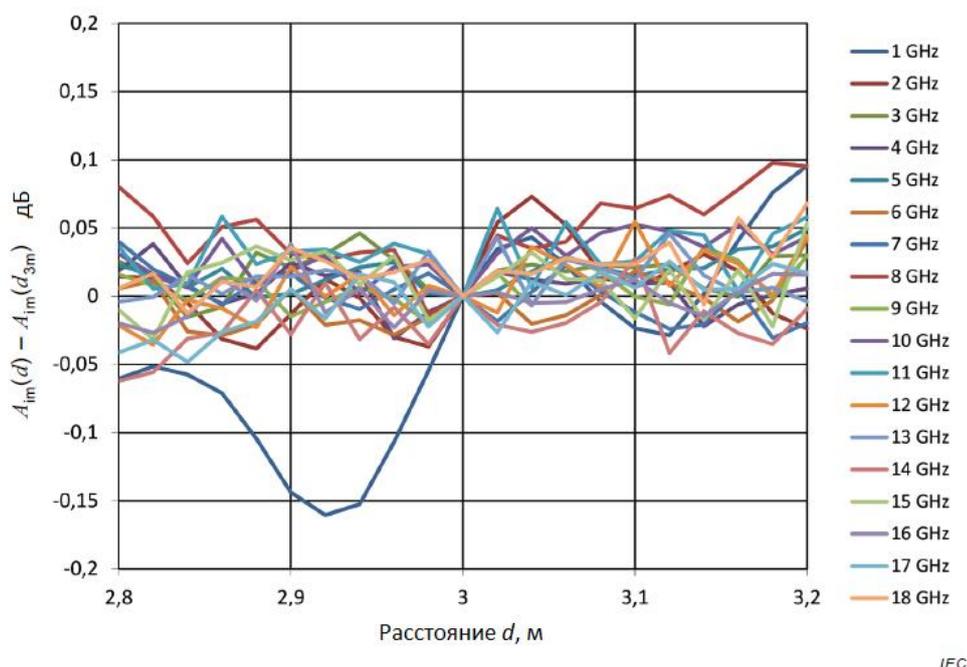


Рисунок 9 – Пример графического представления зависимости $[A_{im}(d) - A_{im}(d_{3m})]$ от расстояния в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц с шагом 1 ГГц с учетом поправок для положения фазовых центров ЛПДА и рупора

5.2.4 Критерий соответствия

Качество рабочей зоны определяется уровнем отражений от стен, пола и потолка БЭК и других отражающих объектов. В нижней части диапазона рабочих частот камеры должны быть проведены более тщательные исследования, поскольку характеристики поглотителей ухудшаются по мере уменьшения частоты.

Критерием приемлемости является размах колебаний $A_{im}(d) \leq 0,5$ дБ, обусловленных отражениями от стен, в пределах одного периода (т.е. между соседними пиками на рисунке 9). Эти характеристики рабочей зоны должны быть обеспечены на требуемом измерительном расстоянии. Половина размаха колебаний $A_{im}(d)$ используется в качестве частной составляющей неопределенности измерений и входит в суммарную неопределённость измерений коэффициента калибровки антенн.

5.2.5 Требования к камере в зависимости от поляризации

Для идеальной БЭК результаты измерений двух согласованных по поляризации антенн инвариантны к изменению поляризации. Для реальной БЭК это не так. На практике измерения выполняют при вертикальной и горизонтальной поляризациях, и графики $A_{im}(d)$ сравниваются друг с другом для соответствующих значений d . Выявленные отличия могут быть использованы на этапе обоснования средств и методов улучшения характеристик камеры.

5.2.6 Неопределенность измерений

В таблице 9 приведен пример бюджета неопределенности. Неопределенность – это размах колебаний. Половина этого размаха представляет собой частную составляющую неопределенности измерений коэффициента калибровки антенны в камере. Колебания, обусловленные отражениями в камере, предполагает постоянный коэффициент усиления антенны и отсутствие взаимной связи между излучающей и приемной антенной, поэтому это важные составляющие в бюджете неопределенности. Стабильность измерительного приемника включена в составляющую, обусловленную повторяемостью измерений.

Т а б л и ц а 9 – Пример бюджета неопределенности измерений характеристик БЭК на частотах свыше 1 ГГц

Источник неопределенности или величина X_i	Значение, дБ	Закон распределения	Делитель	Чувствительность	u_i , дБ	Примечание ^{a)}
Линейность АЧХ измерительного приемника	0,1	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,06	1)
Неопределенность, обусловленная неточностью поправки положения фазового центра	0,1	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,06	2)
Неопределенность измерений, обусловленная неточностью установки расстояния 15 мм на 3 м	0,05	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,03	3)
Вариации коэффициента усиления по дальности 3 м	0,1	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,06	4)
Взаимное влияние антенн	0,2	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,12	5)
Неопределенность измерений, обусловленная рассогласованием	0,1	U-образный	$\sqrt{2}$	1	0,06	6)
Повторяемость измерений	0,05	Нормальный	2	1	0,03	7)
Суммарная стандартная неопределенность измерений при оценке соответствия камеры $u_{Site\ Val}$ на частотах свыше 1 ГГц, дБ					0,16	
Расширенная неопределенность ($k = 2$) $U_{Site\ Val}$, дБ					0,33	
^{a)} - Номер каждого элемента соответствует номерам примечаний, приведенным ниже. Дополнительные описания составляющих неопределенности см. также в Приложении Е к CISPR 16-1-6:2014. Примечания: 1) Неопределенность измерений относится к векторному анализатору цепей. 2) Неопределенность обусловлена неточностью в расчете поправки пространственного положения фазового центра антенны на заданной частоте. Эта составляющая применима к ЛПДА и гибридным антеннам; подробности см. в разделе 7.5.2.2 CISPR 16-1-6:2014. 3) Эта составляющая оценивается для разницы в положении двух антенн менее чем на 15 мм. При расчете значения неопределенности используется номинал измерительного расстояния, на котором калибруются антенны. 4) Изменение коэффициента усиления рупорной антенны в зависимости от расстояния. На расстоянии 1 м от апертуры двугребневой антенны DRH в диапазоне частот от 1 ГГц до 18 ГГц изменение коэффициента усиления составляет до 1 дБ. Поэтому утверждение, что уровень поля уменьшается обратно пропорционально расстоянию, не верно. Если коэффициент усиления не известен на всех расстояниях, его следует рассматривать как частную составляющую неопределенности. 5) Взаимная связь между двумя антеннами графически показана в виде пульсаций на графике зависимости SIL от расстояния при изменении расстояния между антеннами по меньшей мере на $\lambda/2$. Амплитуда этой пульсации должна быть включена в качестве одной из составляющих неопределенности. Взаимная связь зависит от характеристик согласования антенн. Эта пульсация может быть больше, чем вызванная многократными отражениями от камеры, но именно последняя проверяется на соответствие критерию соответствия. 6) Следует учитывать неопределенность, обусловленную рассогласованием между передающей и приемной антенной и кабелями. Максимальный вклад должен быть включен в расчет неопределенности для передающей и принимающей сторон. 7) На повторяемость измерений влияют ошибки настройки (например, высоты антенн, расстояние между антеннами и позиционирование антенн). Сюда же включена повторяемость разъемов и перемещение кабелей. Для получения объективного значения необходимо иметь набор из 10 калибровок, включая						

полный демонтаж и настройку оборудования.

5.3 Оценка соответствия БЭК для калибровки антенн альтернативными методами

5.3.1 Основные положения

В 5.2.2 представлена методика оценки соответствия БЭК на частотах выше 1 ГГц, а в 5.3.2 методика оценки соответствия БЭК для последующей калибровки антенн на частотах от 30 МГц до 1 ГГц. Это также помогает определить частоту перехода для гибридных антенн, описанную в 6.1.2 CISPR 16-1-6:2014. В подпункте 5.3.3 описывается метод, альтернативный 5.2.2, для калибровки антенн ЛПДА с частотой выше 1 ГГц. Также в 5.3.4 описаны методы измерений во временной области для оценки соответствия площадки на частотах свыше 500 МГц.

5.3.2 Оценка соответствия БЭК на частотах от 30 до 1000 МГц

Этот подпункт описывает метод оценки соответствия БЭК, предназначенной для калибровки следующих типов антенн методом эталонной антенны SAM:

- а) биконические и гибридные антенны от 30 до 300 МГц, как описано в 9.2 CISPR 16-1-6:2014, и
- б) дипольные антенны от 60 МГц до 1000 МГц.

Причина установки нижней граничной частоты 60 МГц в б) обусловлена тем, что диполь с длиной 2,4 м может быть размещен в большинстве БЭК. Таким образом, количество номиналов низких частот, на которых должны быть выполнены измерения на площадке для калибровки антенн CALTS, может быть уменьшено.

В диапазоне частот от 30 МГц до 1 ГГц можно достичь достаточно однородного поля в БЭК, неравномерность которого при измерении по методике оценки соответствия БЭК CISPR 16-1-4 (т.е. с использованием небольшой биконической передающей антенны) соответствует критерию отклонения нормализованного затухания площадки $NSA \pm 2,5$ дБ (см. Примечания 2 и 3). Объем рабочей зоны, в которой выполняется оценка соответствия, представляет собой цилиндр, который охватывает калибруемую антенну (например, самые большие элементы гибридной антенны), а приемная антенна находится на расстоянии X , м, от центра этой рабочей

зоны, где X – измерительное расстояние, на котором калибруется антенна, приведенное в 9.2.2 CISPR 16-1-6:2014. Обычно, минимальное изменение однородности поля достигается при расположении антенн вдоль главной оси в центре камеры.

Расстояния между стенами, а также от земли и потолка, зависят от свойств направленности антенны в плоскости Е и плоскости Н (см. определения 3.1.1.16 и 3.1.1.17 CISPR 16-1-6:2014). Расстояние между концами поглотителя и концами антенн должно составлять не менее 1 м.

Соответствие камеры критерию по отклонению нормализованного затухания площадки NSA $\pm 2,5$ дБ позволит достичь значений неопределённости измерений коэффициента калибровки антенны до $\pm 1,2$ дБ для гибридной антенны. Оценка пригодности FAR для достижения более низких значений неопределённости может быть исследована с использованием метода сравнения, описанного в 7.1.

Примечание 1 – Нормализованное затухание площадки (NSA) – это затухание площадки (SA) минус коэффициенты калибровки приемной и передающей антенны (в логарифмическом масштабе).

Примечание 2 – Критерий пригодности площадки NSA $\pm 2,5$ дБ - это более мягкое требование, нежели значение ± 2 дБ, достижимое, например, национальными метрологическими институтами. Величину ± 2 дБ можно будет подтвердить результатами сличения с другими лабораториями.

Примечание 3 – Требования к характеристикам отражений радиопоглощающих материалов описаны в N20) в E.2 CISPR 16-1-6:2014.

5.3.3 Альтернативный метод оценки соответствия БЭК для калибровки ЛПДА на частотах выше 1 ГГц

Для частот выше 1 ГГц достаточный уровень однородности поля в рабочей зоне БЭК может быть подтвержден методом измерений KCBH площадки по CISPR 16-1-4 при расстоянии между антеннами 3 м. При этом должен выполняться критерий соответствия $S_{VSWR} \leq 2$ дБ. Из-за небольшого размера калибруемой антенны на частотах выше 1 ГГц измерения выполняют только в одном местоположении. Предполагается, что при калибровке антенн расстояние между ними составляет менее

3 м, например, 2,5 м между центром ЛПДА и частью ЛПДА гибридных антенн, как показано на рисунке 10 (см. 6.1.1).

При оценке соответствия в качестве приемной антенны должны применяться гибридные антенны и ЛПДА того же типа, которые в последствии будут калибровать в БЭК методом трех антенн TAM или методом эталонной антенны SAM.

5.3.4 Альтернативный метод оценки соответствия БЭК свыше 500 МГц на основе измерений во временной области

Для частот выше 500 МГц характеристики БЭК могут быть определены с использованием опции измерений во временной области векторного анализатора цепей. Измерения во временной области позволяет оценить время задержки и уровень отражений от элементов камеры относительно прямого сигнала. Источник отражений может быть идентифицирован и отнесен, например, к мачте, облицованной поглотителем стене или дефекту камеры. Неопределённость измерений определяется отношением уровней прямого сигнала и RSS (корень из суммы квадратов) отражений.

Из-за небольшого размера калибруемой антенны измерения выполняются только в одном местоположении. Предполагается, что при калибровке антенн расстояние между ними составляет менее 3 м, например, 2,5 м между центрами антенн, как показано на рисунке 10 (см. 6.1.1).

Для реализации оценки соответствия БЭК временным методом могут применяться такие типы антенн, как биконические, ЛПДА, пирамидальные рупора или двугребневые антенны DRH. Для каждой комбинации таких антенн, например, DRH и ЛПДА, или ЛПДА и биконической, в БЭК должна быть проведена единая оценка соответствия, поскольку восприимчивость к отражениям отличается для каждой комбинации различных антенн из-за различных свойств их направленности.

5.4 Оценка соответствия БЭК для измерений диаграмм направленности свыше 1 ГГц

В приложении I к CISPR 16-1-6:2014/AMD 1:2016 представлен метод измерений диаграммы направленности антенны, а также оценки соответствия площадки на частотах выше 1 ГГц.

6 Методы оценки соответствия площадок, используемых для калибровки направленных антенн

6.1 Оценка соответствия площадок для калибровки антенн с уменьшением уровня отражений от подстилающей поверхности за счет подъема антенн на высоту не менее 4 м

6.1.1 Методика измерений

В этом подпункте описана методика оценки соответствия открытой площадки для калибровки антенн, используемых при испытаниях на ЭМС, таких как ЛПДА, гибридных и рупорных антенн в диапазоне частот от 200 МГц до 18 ГГц, как описано в 9.4 CISPR 16-1-6:2014. Пластина заземления в данном случае не требуется, однако, площадка должна быть свободна от отражений от сторонних предметов в соответствии с теми же принципами, как в случае с CALTS; также пластина не должна покрывать такую большую площадь, как в CALTS.

Если площадка не имеет пластины заземления или поверхности со стабильным коэффициентом отражения, то при оценке соответствия измерения должны выполняться перед каждым использованием площадки для калибровки антенн до тех пор, пока не будут определены наихудшие условия для отражений и, следовательно, минимальная высота подъема антенны. Коэффициент отражения земли может изменяться в зависимости от влажности и растительности, равно, как и уровень отражений от любых ближайших деревьев.

Помимо характеристик отражения подстилающей поверхности, высота подъема антенн, при которой уровни отраженных сигналов будут приемлемыми, зависит от расстояния и направленных свойств пары антенн, а также от того, поляризованы ли антенны горизонтально или вертикально. Вертикальная поляризация является предпочтительной, как показано на рис. 10, поскольку диаграмма направленности в плоскости E более узкая, нежели в плоскости H, поэтому уровень отраженного сигнала будет меньше. Для достижения того или иного значения неопределенности необходимая высота антенны определяется, начиная с небольшого номинала, например, 2 м. Затем она синхронно увеличивается с шагом не более $\lambda/8$ и одновременно измеряются вносимые потери SIL.

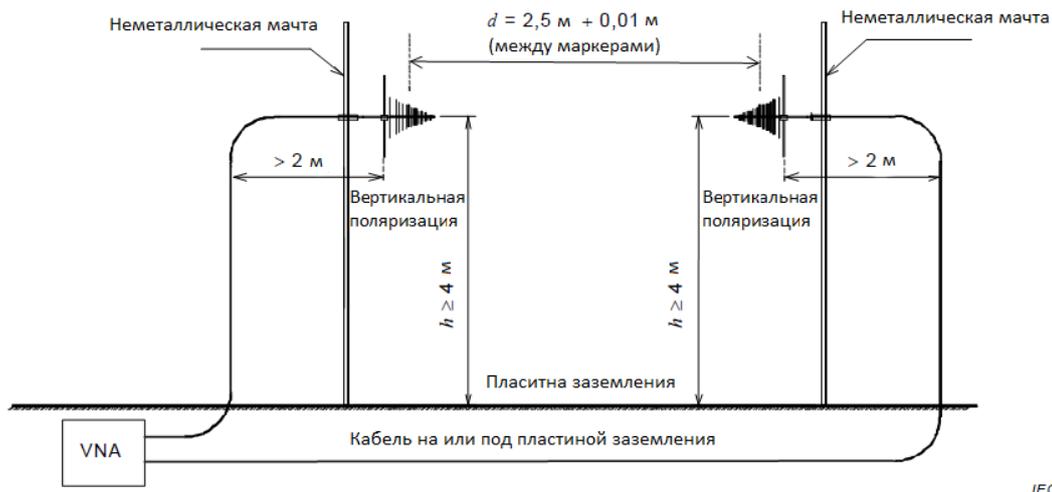


Рисунок 10 – Пример установки антенн типа ЛПДА для калибровки на частотах свыше 200 МГц

Цель измерений заключается в том, чтобы, изменяя высоту антенн, добиться четких гармонических колебаний в SIL, как показано в примере на рисунке 11, по которому можно определить размах этих колебаний. Например, на частотах свыше 1875 МГц может быть использован шаг 0,02 м при минимальной высоте перемещения 0,2 м. Эти колебания, в основном, являются результатом векторного сложения прямого сигнала, распространяющегося между антеннами, и наиболее интенсивного отражения от подстилающей поверхности; однако отражения от сторонних предметов, таких как здания и деревья, будут также оказывать влияние на эту зависимость. Критерием пригодности площадки является размах колебания (т.е. от пика к пику) менее 0,2 дБ. Эти номиналы высоты и расстояния для этой пары антенн, размещенных в этих пространственных точках, образуют площадку для калибровки антенн. На рисунке 11 показано, что изменение SIL составляет менее 0,2 дБ на высоте более 5 м.

Однако, отражения от высотных зданий, создающих постоянный уровень отраженных сигналов при изменении высоты антенны, не будут определяться подобным методом измерений. Наихудший случай - нахождение отражателя в направлении распространения электромагнитной волны от передающей антенны. На рисунке 12 показан рупор, облучающий всенаправленную антенну. Для того чтобы такие отражения вносили неопределённость измерений менее 0,2 дБ, разница в расстояниях, пройденных излученным сигналом, А, до всенаправленной антенны, и

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

отраженным сигналом, В, до здания и от здания до всенаправленной антенны, должна составлять более 42 м. Другими словами, для подобного сценария на рисунке 12 идеально отражающее здание должно находиться на расстоянии более 42 м от рупорной антенны. Расстояние до здания может быть меньше, если приемная антенна имеет нулевые задние лепестки диаграммы направленности. Для зданий и металлических ограждений, например, параллельных направлению визирования, следует провести аналогичный анализ с учетом свойств направленности антенн.

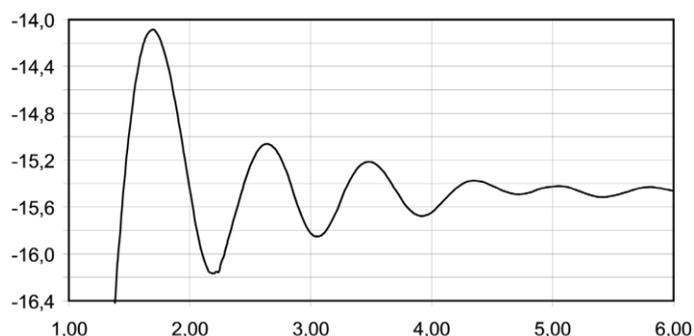


Рисунок 11 – Пример зависимости результатов измерений вносимых потерь SIL от высоты антенны, на частоте 200 МГц между двумя антеннами ЛПДА в вертикальной поляризации на расстоянии 2,5 м между их средними точками над отражающей пластиной заземления открытой площадки OATS

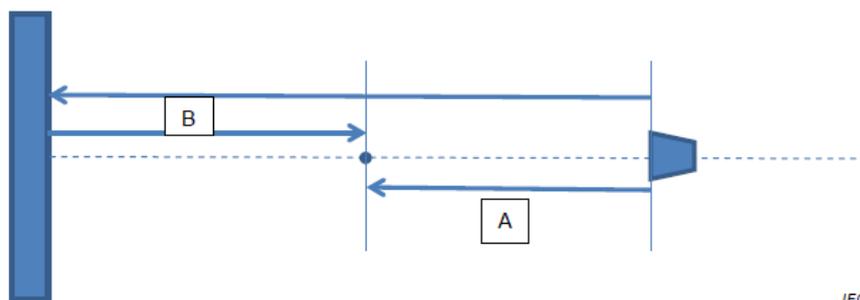


Рисунок 12 – Расстояния между излучающим рупором, всенаправленной приемной антенны и отражающим зданием, а также путей распространения прямого А и отраженного В сигналов

6.1.2 Неопределённость измерений

Измеряемой величиной являются изменения уровня принимаемого сигнала при сканировании антенн по высоте. Пример бюджета неопределенности измерений

приведен в таблице 10.

Т а б л и ц а 10 – Пример бюджета неопределенности измерений при реализации метода оценки соответствия площадки по 6.1.1

Источник неопределенности или величина X_i	Значение, дБ	Закон распределения	Делитель	Чувствительность	u_i , дБ ^{а)}	Примечание ^{б)}
Шумы измерительного приемника	0,02	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,012	1)
Повторяемость установки высоты антенны, при которой достигается критерий соответствия	0,1	Нормальный	1	1	0,1	
Изменение потерь в кабеле при изменении температуры или из-за изгибов	0,15	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,087	2)
Внешние радиочастотные помехи при условии, что отношение сигнал/шум на входе приемника не менее 20 дБ	0,086	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,05	3)
Неопределенность из-за нелинейности при низких уровнях сигнала, как правило, < - 70 дБм ^{б)}	0,08	Равномерный	$\sqrt{3}$	1	0,046	4)
Суммарная стандартная неопределённость измерений u_c					0,15	
Расширенная неопределённость ($k = 2$) $U_{SiteVal}$, дБ					0,3	
<p>^{а)} - Коэффициент чувствительности, c_i, в силу аддитивности модели, равен единице для всех компонентов. Предполагается, что неопределённость установки частоты составляет ≤ 10 ppm.</p> <p>^{б)} – 0,08 дБ – из технического описания на VNA, показано в качестве примера.</p> <p>^{в)} – Номер каждого элемента соответствует номерам примечаний, приведенным ниже. Дополнительные описания компонентов неопределенности см. также в Приложении Е к CISPR 16-1-6:2014</p> <p>Примечания:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Шумы приемника см. в разделе 6.2.4 CISPR 16-1-6:2014. 2) Составляющая обусловлена изменением коэффициента передачи кабеля во времени между измерением опорных значений ослабления (прямое подключение) и измерением SIL (с антеннами). Это справедливо в случае, если измерения коэффициента калибровки не выполняется в экстремальных условиях окружающей среды (например, при изменении температуры открытой площадки более чем на 5°C в процессе калибровки). Минимальный радиус изгиба кабеля должен быть указан производителем кабеля. Оценка влияния изгиба кабеля выполняется с помощью повторных измерений. 3) При наличии узкополосных помех на контрольных частотах измерения допускается не выполнять, и коэффициент калибровки на этих частотах может быть вычислен путем интерполяции. Для получения информации о шуме приемника см. 1). 4) Для получения информации о нелинейности приемника см. пункт 6.2.3 CISPR 16-1-6:2014. 						

6.2 Оценка соответствия площадок для калибровки антенн с уменьшением уровня отражений от подстилающей поверхности за счет использования радиопоглощающих материалов

Альтернативным вариантом размещения антенн на меньшей высоте (например, 2,5 м) служит укладка радиопоглощающего материала на земле между антеннами. Поглотитель должен иметь коэффициент отражения не более -40 дБ при нормальном угле падения электромагнитной волны на него во всем диапазоне частот измерений коэффициента калибровки. Предполагая, что расстояние между антеннами составляет 2,5 м, поглотитель следует укладывать по центру между антеннами таким образом, чтоб его общая длина составила 2,4 м, а ширина не менее 1,8 м. Может быть применен тот же метод оценки соответствия площадки, что и в 6.1

Также измерения могут быть выполнены в большой полностью безэховой камере (БЭК). В этом случае при оценке соответствия площадки изменения SIL необходимо измерить в двух направлениях: а) вертикальном, т.е. изменяя высоту антенны до тех пор, пока не будет достигнуто минимальное изменение SIL в зависимости от высоты (аналогично методу оценки в 6.1.1), и б) горизонтальном, т.е. изменяя горизонтальное положение двух антенн до тех пор, пока не будет достигнуто минимальное изменение SIL. Требуемое расстояние между стенами, а также от пола до потолка будет зависеть от направленных свойств антенн в горизонтальной и вертикальной поляризациях, аналогично 5.2. Чтобы обеспечить эффективность поглотителя на торцевых стенках, измерения должны быть выполнены повторно вдоль оси между антеннами.

7 Оценка соответствия площадки методом сравнения коэффициентов калибровки антенны и применение метода опорной площадки RSM для оценки вклада неопределенности измерений площадки, реализованной в полубезэховой камере SAC

7.1 Использование метода эталонной антенны SAM для оценки соответствия площадки путем сравнения коэффициентов калибровки антенны

В этом подпункте приводятся положения, необходимые для проведения оценки соответствия специальной площадки для калибровки антенн путем сравнения измеренных на этой площадке коэффициентов калибровки антенн с коэффициентами калибровки, измеренными на другой площадке, характеристики которой подтверждены независимым методом. Площадка, соответствие которой подтвердили таким образом, пригодна для измерений коэффициентов калибровки антенны методом эталонной антенны SAM (см. также A.9.4 CISPR 16-1-6:2014). Этот подход может обеспечить значительную экономию средств при выборе той или иной площадки, поскольку для ее реализации необходимо обеспечить только условия формирования электромагнитного поля, достаточные для калибровки определенного типа антенн. Другими словами, к площадке не нужно предъявлять дополнительные требования, чтобы удовлетворить критерии соответствия, изложенные в разделах 4, 5 и 6. Методы, указанные в пункте 5.3, не являются независимыми и альтернативными методами оценки.

Этот метод особенно подходит для производителей, которые измеряют много антенн одной и той же модели. Однако для каждой модели антенны, предназначенной для калибровки, необходимо подтвердить соответствие площадки. Допускаются небольшие отклонения в линейных размерах антенн; руководство см. в разделе 8.3.3 CISPR 16-1-6:2014. Пункт 6 настоящего стандарта предусматривает подход, аналогичный 9.4 CISPR 16-1-6:2014, который заключается в том, что при оценке соответствия площадки измерения выполняются при сканировании по высоте определенной пары антенн.

Также этот подход к оценке соответствия площадки методом сравнения полезен, если калибровочная лаборатория имеет площадку CALTS, но хочет дополнительно провести некоторые калибровки в помещении. Коэффициент калибровки F_a , измеренный в БЭК, можно сравнить с коэффициентом калибровки F_a , измеренным на CALTS. Если в лаборатории нет площадки CALTS, она может получить эталонный

коэффициент калибровки F_a из другой калибровочной лаборатории, обеспечивающей измерения с малой неопределенностью.

Еще одно преимущество этого подхода, т.е. возможность увидеть, насколько хорошо коэффициент калибровки F_a согласуется с эталонным значением F_a , заключается в том, что метод калибровки может быть адаптируемым. Например, в 9.2.2 CISPR 16-1-6:2014 биконические антенны калибруются методом эталонной антенны SAM на расстоянии между антеннами ≥ 4 м. Это уменьшение с 10 м было признано экспериментально приемлемым с помощью этого метода сравнения, что дает возможность применять меньшие по габаритам БЭК.

Этот подход полезен для расширения частотного диапазона площадки для калибровки, которая уже прошла оценку соответствия. Одним из примеров является возможность калибровки рупорных антенн до 900 МГц в условиях БЭК, которая прошла оценку соответствия для калибровки рупорных антенн свыше 1 ГГц. Вместо повторения метода оценки соответствия на частотах до 900 МГц альтернативой является получение эталонного коэффициента калибровки F_a для рупорной антенны, а затем проверка того, насколько хорошо согласуются с ним значения F_a , полученные в этой БЭК.

Внутри помещения подходящие условия свободного пространства могут быть достигнуты в достаточно большом объеме, в котором концы антенны находятся на расстоянии не менее 1 м от любой облицованной поглотителем поверхности. Калибруемая антенна и вспомогательная антенна должны быть разделены по меньшей мере на 1λ , но, поскольку биконические антенны электрически коротки на частотах ниже 50 МГц, расстояние в 5 м достаточно при реализации измерений на частотах до 30 МГц. Предпочтительны большие измерительные расстояния, поскольку чем ближе расположены антенны, тем более чувствительными к положению антенн являются результаты измерений коэффициентов калибровки. Кроме того, при уменьшении размеров помещения необходимо уменьшать высоту радиопоглощающего материала, что увеличивает восприимчивость результатов измерений коэффициентов калибровки к расположению антенн и их взаимодействию с металлическими поверхностями. Наилучшие результаты достигаются, когда эталонная антенна STA имеет тот же тип антенны, что и калибруемая, и замещается в том же месте, что и калибруемая, с допустимым отклонением ± 5 мм по всем трем координатам для частот ниже 1 ГГц.

Неопределенность измерений коэффициента калибровки F_a рассчитывается путем арифметического сложения неопределенности эталонного значения коэффициента калибровки F_a и разницы между ними, плюс запас для воспроизводимости этого процесса. Эта дополнительная неопределенность может быть уменьшена путем повторных сравнительных измерений данного типа антенн и последующей статистической обработкой полученных результатов.

Этот метод оценки соответствия площадки базируется на получении одинаковых значений коэффициентов калибровки антенн в пределах желаемого допустимого отклонения для данного типа антенн. Это достигается за счет того, что площадка не меняется, для последующих калибровок методом SAM антенн одного типа, с небольшими разрешенными отклонениями, как указано во втором абзаце этого подпункта. Если есть какие-либо изменения, в том числе в установке любого компонента, такого как антенны, мачты и кабели, первоначальная оценка соответствия должна быть повторена.

Этот метод оценки соответствия площадки не подходит для антенн с неисправностями, например, плохие характеристики симметрирующего устройства, которые могут повлиять на параметры антенны во время и между калибровками. Процесс оценки соответствия может быть более интенсивным, чем для площадок, проверяемых в соответствии с обычными методами оценки. Он подходит для случаев, когда необходимо откалибровать большое количество антенн одного типа.

7.2 Применение метода опорной площадки RSM для оценки вклада неопределённости измерений площадки, реализованной в полубезэховой камере SAC

Оценка соответствия площадки путем сравнения коэффициентов калибровки антенн с использованием метода эталонной антенны SAM рассматривается в 7.1. Оценка соответствия площадки также может быть выполнена путем сравнения коэффициентов калибровки антенн с использованием метода трех антенн TAM или метода эталонной площадки SSM, измеренных на площадке CALTS, со значениями, полученными на оцениваемой площадке; это может быть сделано методом опорной площадки RSM в горизонтальной поляризации. В этом подпункте описываются условия оценки соответствия площадки для калибровки антенн, реализованной в

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

полубезэховой камере SAC, с использованием основных подходов метода опорной площадки RSM по стандарту CISPR 16-1-4. Результирующий вклад неопределённости измерений площадки для калибровки, проверенной этим методом, обычно выше, чем вклад CALTS.

Площадка, оценка соответствия которой выполнена данным методом, подходит для калибровки антенн с использованием метода эталонной площадки SSM (см. CISPR 16-1-6). Этот подход к оценке соответствия может обеспечить значительную экономию средств при приобретении площадки для калибровки, реализованной в полубезэховой камере SAC, поскольку для калибровки конкретного типа антенн требуется оценка соответствия площадки только с использованием широкополосных антенн ограниченного размера; к площадке не нужно предъявлять дополнительные требования, чтобы удовлетворить критерии соответствия, изложенные в разделах 4, 5 и 6.

Примечание – Неопределённость измерений коэффициента калибровки антенн на 10-метровых площадках SAC, используемых в качестве площадок для калибровки, может составлять порядка 1,5 дБ.

Этот подход к оценке соответствия площадки с использованием передаточной функции – в данном случае A_{APR} (см., например, раздел 5 CISPR 16-1-4:2010, AMD1:2012) – полезен, если калибровочная лаборатория не имеет CALTS, но хочет проводить калибровки в SAC. Лаборатория может получить эталонное значение A_{APR} от другой калибровочной лаборатории, например, национального института метрологии, который способен предоставить результаты с низким значением неопределенности измерений.

Эта методика оценки применима для горизонтальной поляризации с использованием обычных антенн, таких как биконические, ЛПДА или гибридные. Измерения должны выполняться для типовых характеристик антенн, поскольку их результаты могут значительно отличаться из-за различных свойств направленности. Например, более высокая направленность или разные относительные уровни задних лепестков могут по-разному влиять на взаимодействие, например, со стенами, мачтой или кабелями.

Обычно полубезэховая камера SAC имеет достаточно компактные размеры и индивидуальные характеристики, определяемые размерами, формой и материалом камеры. Поэтому небольшая полубезэховая камера не может быть квалифицирована

как площадка CALTS с настроенными дипольными антеннами. Независимо от этого, разумным способом определения и количественной оценки характеристик полубезэховой камеры SAC является метод опорной площадки RSM, который может быть применен с использованием передаточной функции (т.е. пары антенн в качестве меры единицы коэффициента передачи), которая была откалибрована на CALTS / REFTS с низкой неопределённостью измерений.

Методика, в основном, заключается в измерении пары антенн, одна из которых размещена на высоте 2 м, а вторая перемещается по высоте от 1 м до 4 м при расстоянии друг от друга 10 м. Методика должна быть реализована на подходящей оси измерений в камере. Подходящая ось в данном случае означает, что затухание площадки на этой измерительной оси как можно меньше отклоняется от затухания идеальной открытой площадки OATS. Экспериментальное определение подходящей измерительной оси должно быть подтверждено результатами соответствующих измерений нормализованного затухания площадки NSA в камере. Затухание площадки A_s , измеренное в полубезэховой камере SAC, можно сравнить с теоретическим значением затухания площадки $A_{s \text{ ref}}$ (см. 5.4 CISPR 16-1-4:2010, AMD 1:2012), используя результаты измерений затухания площадки для пары антенн A_{APR} , откалиброванных на CALTS или REFTS.

Из-за различных линейных размеров измерительных антенн, находящихся в обращении, не всегда достаточно проводить оценку соответствия площадки только на одной измерительной оси с фиксированным положением антенны. В случае калибруемой антенны, размеры которой больше, чем антенны, использованной во время измерений при первичной оценке соответствия площадки, соответствующий калибруемой антенне размер рабочей зоны должен быть подтвержден одним или несколькими дополнительными измерениями. Поскольку найти подходящую измерительную ось довольно сложно, соответствующие размеры рабочей зоны для наиболее распространенных типоразмеров антенн должны быть подтверждены при первичной оценке соответствия, прежде чем выполнять какие-либо калибровки антенн. Измерения коэффициентов калибровки антенн, размеры которых превышают размеры рабочей зоны площадки, являются некорректными.

Разница между измеренным значением затухания площадки A_s и теоретическим затуханием площадки $A_{s \text{ ref}}$ с применением результатов измерений затухания площадки для пары антенн A_{APR} , откалиброванных на CALTS/REFTS, должна

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

учитываться в общей неопределённости измерений при последующих калибровках антенн. Если при оценке соответствия площадки для определения большего размера рабочей зоны применимо более одного измерения, максимальная неопределенность всех таких измерений должна быть включена в общую неопределенность измерений.

Процедура расчета неопределенности результатов измерений при оценке соответствия площадки очень похожа на такую же для случая CALTS, поскольку измерения и подготовка к ним выполняются с помощью и с учетом аналогичного измерительного оборудования и требований (см. Таблицу 2 и Таблицу 11). Рассматривается единственный дополнительный вклад неопределенности в результаты измерений при оценке площадки из-за используемой передаточной функции (функций) (т.е. A_{APR}), а не расчетных диполей. Эта передаточная функция имеет неопределённость измерений, которая должна учитываться в общей неопределенности измерений коэффициентов калибровки на площадке для калибровки.

Т а б л и ц а 11 – Допустимые отклонения при оценке соответствия для расстояния $d = 10$ м

Характеристика	Допустимое отклонение	Номер подраздела стандарта
d	$\pm 0,04$ м	4.4.2.3
h_t	$\pm 0,01$ м	4.4.2.4
h_r	$\pm 0,01$ м	4.4.2.5
f	$\pm 0,001f$	4.4.2.2

Приложение А

(Справочное)

Характеристики и оценка соответствия площадок CALTS, предназначенных для калибровки антенн

А.1 Основные положения

Обязательные требования этого стандарта в целом означают, что площадки для измерений коэффициентов калибровки антенн CALTS - это особый вид открытых площадок OATS. Однако нормативные документы не требуют, чтобы площадки CALTS всегда были открытыми площадками OATS. Исходя из этого, площадка CALTS может быть защищена от атмосферных воздействий, может быть расположена в большой соляной шахте и т.д., при условии соблюдения всех предъявляемых к ней требований. Площадка CALTS также может быть применена там, где не используется отражение от земли, поскольку проверка CALTS включает в себя минимизацию уровней отражений от окружающих объектов. Кроме того, пластина заземления обеспечивает жесткую плоскую поверхность, облегчающую выравнивание антенн. Положения, изложенные в А.2 и А.3, применимы также к опорным площадкам REFTS. Некоторые сведения об испытательных площадках можно найти в пункте 5 CISPR 16-1-4:2010, AMD 1:2012, также дополнительная информация приведена в этом приложении.

А.2 Отражающая пластина

А.2.1 Конструкция отражающей пластины

Отражающая (заземляющая) пластина может быть реализована в виде сплошного листа или проволочной сетки. Лист или сетку рекомендуется непрерывно сваривать по швам или на расстояниях вдоль швов менее $\lambda_{min}/10$, где λ_{min} - длина волны, соответствующая максимальной рабочей частоте площадки. Если выбрана проволочная сетка, необходимо обеспечить хороший токопроводящий контакт пересекающихся проводов друг с другом. Размер сетки должен быть меньше $\lambda_{min}/18$, чтобы обеспечить вклад неопределенности менее 0,1 дБ в измерения затухания площадки SA как для вертикальной, так и для горизонтальной поляризации для угла падения вплоть до 79° относительно нормали, который образуется при размещении

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

антенны на высоте 1 м и измерительном расстоянии 10 м. При этом ошибки намного ниже для горизонтальной поляризации [27].

Толщина материала определяется требованиями к механической прочности и стабильности. Значение проводимости, равное или превышающее проводимость железа, является достаточно высоким. Форма пластины не имеет большого значения, но в то же время она не должна иметь эллиптической формы, характерной для первой зоны Френеля (см. А.2.2). Обычно достаточно плоскостности и шероховатости [8] $\leq \pm 10$ мм, т.е. $\leq \pm \lambda / 30$ при частоте 1000 МГц. Любой защитный слой на отражающей плоскости может изменять фазу отраженной волны [9]. Слой не должен вызывать изменения φ , указанного в Примечании 2 к пункту 3.1.2.6, более чем на $\pm 3^\circ$. Например, было обнаружено, что тонкое покрытие белой эпоксидной краской не влияет на свойства радиочастотного отражения пластины заземления, в то же время значительно уменьшая ее тепловое расширение.

Длина и ширина пластины заземления должны быть достаточно большими, чтобы влияние конечных размеров на неопределенность измерений коэффициентов калибровки антенн было минимальным. К сожалению, пока нет доступных теоретических моделей, которые связывали бы минимальные размеры пластины заземления с заданным максимальным пределом неопределенности измерений при калибровке антенн. Одним из критериев является необходимость того, чтобы отражающая пластина включала первую зону Френеля ([6], [7] и [8]). Это приводит к необходимости создания пластины с минимальными размерами 20 м (длина) на 15 м (ширина). Однако, на самой низкой частоте 30 МГц при измерительном расстоянии 10 м это означает только $\lambda / 2$ (где λ - длина волны) до краев пластины заземления или $\lambda / 4$ от концов диполя 30 МГц. При этом расстояние от центра антенны должно быть не менее λ , что подразумевает минимальные размеры пластины заземления 30 м на 20 м.

Если пластина заземления меньше, то она должна удовлетворять критериям приемлемости площадки как при горизонтальной, так и при вертикальной поляризации. Вертикально поляризованные антенны менее сильно взаимодействуют с плоскостью заземления, чем антенны с горизонтальной поляризацией, поэтому для вертикальной поляризации можно использовать пластину заземления меньших размеров. Также там, где не используются отражения от пластины заземления, например, при калибровке антенны ЛПДА, установленной на высоте > 4 м, размеры участка поверхности под

антеннами не обязательно должны соответствовать минимальному размеру пластины заземления. Часть проблем при расчетах и моделировании сводится к тому, чем оканчивается пластина заземления по ее периметру. Соединение проволочной сетки по всему периметру и плавное ее сужение, и углубление в окружающий грунт может улучшить характеристики площадки, но электропроводность земли зависит от ее влажности, и эта практика не всегда гарантирует желаемый эффект.

A.2.2 Эффекты на краях пластины и окружающая обстановка

При ограниченных размерах отражающей пластины ее края представляют собой границу раздела двух сред с разными отражающими свойствами. Это приводит к тому, что электромагнитные волны могут рассеиваться на границе и оказывать негативное влияние на результаты измерений. Дифракция на краях обычно заметна для результатов измерений на вертикальной поляризации и незначительна на горизонтальной [12].

Среди прочего, уровень рассеяния зависит от того, находится ли отражающая пластина в плоскости земли (влажная или сухая почва уже может внести разницу [10]), или она приподнята, например, в случае размещения площадки на крыше здания. Результаты исследований можно найти в [11], где также показано, что отражающая пластина не должна иметь форму эллипса первой зоны Френеля, поскольку в этом случае могут увеличиваться неопределенности измерений, вносимые дифракционными эффектами.

Край отражающей пластины может быть заземлен к окружающей почве во многих пространственных точках, и если почва обладает хорошей проводимостью, например, во влажном состоянии, она образует хорошее продолжение металлической отражающей пластины [12].

Если потенциально отражающие препятствия находятся на расстоянии 30 м от границ отражающей пластины, следует убедиться, что влиянием этих препятствий можно пренебречь. Эта проверка может быть выполнена с помощью измерений с перестройкой частоты с использованием рассчитываемых диполей фиксированной длины, например, набора, показанного в таблице A.1, где f_r - резонансная частота диполя, а B_s – предлагаемый диапазон частот.

При отсутствии источников отражений отклик будет плавным. Отражения могут проявляться как относительно узкополосные резонансы, которые будут накладываться

на этот отклик. Резонансы определяют точные частоты, на которых отражения от препятствий значительны. Местоположение предполагаемого препятствия можно проверить на этих частотах, поместив перед ним большую металлическую пластину для усиления резонансного эффекта. Пластина ориентируется под таким углом, при котором этот эффект максимален.

Т а б л и ц а А.1 – Пример рассчитываемых дипольных антенн фиксированной длины и их соответствие в диапазоне частот от 30 до 1000 МГц

f_r , МГц	B_s , МГц
60	от 30 до 100
180	от 100 до 300
400	от 300 до 600
700	от 600 до 1000

А.3 Вспомогательное оборудование

Необходимо предусмотреть, чтобы такие предметы, как материал антенной мачты, адаптеры, трос, а также влияние влажности мачт и тросов, направление кабелей, разъемы, возможное наличие поворотного стола, если площадка для калибровки CALTS используется в качестве площадки для испытаний COMTS, не влияли на результаты измерений. В этих случаях измерения с перестройкой по частоте, как упоминалось в А.2, могут выявить возможные проблемы.

Площадка для калибровки антенн из-за отражений от антенных опор и кабелей может не соответствовать предъявляемым требованиям. В первом случае источник отражений может быть неизвестен, поэтому следует принять меры по исключению значительных отражений от опор антенны. Воздействие антенных опор можно минимизировать, используя легкие мачты, такие как тонкостенные трубы из стекловолокна, с минимальным количеством металлических деталей, ограниченным лишь необходимыми короткими болтами. В качестве альтернативы можно использовать пенополистирольные блоки, особенно на частотах выше 500 МГц, где антенны, такие как диполи, имеют однородные диаграммы направленности в Н-плоскости.

Поскольку основные компоненты мачт расположены вертикально и кабель опускается вертикально, отражения, вероятно, будут больше для антенн с

вертикальной поляризацией. Процедура определения величины отражений от мачты и кабеля приведена в А.2.3 CISPR 16-1-6:2014.

А.4 Дополнительная строгая оценка соответствия площадок CALTS для калибровки антенн

А.4.1 Основные положения

Оценка соответствия площадки путем нахождения минимума вносимых потерь SIL (т.е. максимума сигнала) введена в 4.4.1 и описана в 4.4.4. Более строгим методом оценки соответствия является измерение максимума SIL (т.е. минимума сигнала или нуля) (см. также Примечание 1 к 4.2.2). Этот метод применим для проверки отличий между измеренным и теоретическим значениями вносимых потерь SIL, которые намного меньше, чем критерии приемлемости, и, следовательно, для достижения более низких неопределенностей при измерениях характеристик площадки. Этот метод включает в себя установление нуля в выходном сигнале (см. 3.1.3.2) при размещении двух горизонтально поляризованных дипольных антенн над пластиной заземления. Особое внимание также необходимо уделять уменьшению отражений от мачт и кабелей (см. А.3).

Существует два альтернативных способа получения максимума SIL. Первый способ, описанный в А.4.2, включает в себя сканирование по высоте одной из измерительных антенн для поиска максимального значения SIL. После этого сравнивают измеренное и рассчитанное значение высоты этой антенны, при котором был достигнут максимум. Второй способ, описанный в А.4.3, предусматривает фиксированные значения высоты антенн и сканирование по частоте для поиска максимального значения SIL. После этого сравнивают измеренное и рассчитанное значение частоты, при котором был достигнут максимум.

Измеренные высоты антенн или измеренная частота должны находиться в пределах определенного допуска вычисленных теоретических значений в А.4.2.3 и А.4.3.3, соответственно. Помимо неопределенностей в различной измерительной информации, этот запас также учитывает допуски, применимые при настройке измерений. Предлагаемые частоты являются примерами; изложенные подходы могут быть реализованы на любой частоте.

A.4.2 Измерения со сканированием антенны по высоте

A.4.2.1 Основные положения

Измерения со сканированием приемной антенны по высоте выполняются на трех заданных частотах f_s и с подходящими дипольными антеннами. Таким образом, в этом подпункте описаны три измерения со сканированием антенны по высоте, необходимые для определения значения высоты приемной антенны $h_{r,max}$, при котором измеренный SIL принимает максимальное значение, также называемое нулевым сигналом.

A.4.2.2 Метод измерений

A.4.2.2.1 Перед измерениями необходимо выполнить первоначальную установку, как описано в 4.4.2, при которой горизонтально поляризованная передающая антенна находится на высоте 2 м и на расстоянии 10 м от приемной антенны. Высота центра приемной антенны над отражающей пластиной должна быть плавно перестраиваемой в диапазоне $1,0 \text{ м} \leq h_r \leq 4,0 \text{ м}$.

A.4.2.2.2 На трех частотах, f_s , 300 МГц, 600 МГц и 900 МГц, высота приемной антенны увеличивается с высоты $h_r = 1,0 \text{ м}$ до высоты $h_{r,max}(f_s)$, соответствующей первому резкому максимуму в результатах измерений вносимых потерь SIL.

Примечание – Фактическое значение минимума в показаниях приемника не представляет интереса; это значение является лишь индикатором для определения $h_{r,max}(f_s)$.

A.4.2.2.3 Измерить высоту $h_{r,max}(f_s)$ и записать результат вместе с соответствующей неопределённостью измерений $\Delta h_{r,max}(f_s)$.

A.4.2.3 Критерий пригодности

См. также раздел 4.5.3 и рисунок 7 для применения этого подпункта. Площадка для калибровки антенн CALTS соответствует критерию по высоте приемной антенны для максимальных значений вносимых потерь SIL, если на трех частотах f_s (т.е. 300 МГц, 600 МГц, 900 МГц) выполняется условие:

$$|h_{rc} - h_{r,max}| < T_{hr} - \Delta h_{rm}, \quad (\text{A.1})$$

где

h_{rc} – теоретическое значение высоты приемной антенны, соответствующее нулевому сигналу, м;

$h_{r,max}$ – измеренное значение высоты приемной антенны, м;

Δh_{rm} – неопределённость измерений высоты антенны ($k = 2$), м, в соответствии с А.4.2.4;

T_{hr} – допустимое отклонение $h_{r,max}$, м.

Для h_{rc} , если диполь поддается расчету, можно рассчитать значения вносимых потерь SIL, как описано в Приложении С, используя данные измерительной антенны, описываемые приложением 4.3.2 g) с учетом фактических геометрических размеров L_a , d , h_t и фактической частоты f_s .

Если в стандарте на калибровку антенны, требующем использование площадки типа CALTS, не указано иное, допустимое отклонение составляет $T_{hr} = 0,025$ м.

А.4.2.4 Неопределённость измерений

Неопределённость Δh_{rm} измерений высоты приемной антенны $h_{r,max}$, как определено в А.4.2.3, оценивается по формуле:

$$\Delta h_{rm} = \sqrt{(\Delta h_{r,max})^2 + (\Delta h_{rt})^2}, \quad (\text{A.2})$$

где

$\Delta h_{r,max}$ – в соответствии с А.4.2.2;

Δh_{rt} – составляющая, учитывающая чувствительность $h_{r,max}$ к допустимым отклонениям параметров (максимальные значения приведены в таблице 2).

Значение Δh_{rt} может быть вычислено с использованием модели С.1.4.4.

Если допустимые отклонения параметров соответствуют тем, которые приведены в таблице 2, значение Δh_{rt} ($k = 2$) = 0,025 м может использоваться на трех указанных частотах. В этом случае вычисления Δh_{rt} выполнять не нужно, равно как и представлять результаты вычислений в отчете об оценке соответствия CALTS.

Примечание – Обоснование Δh_{rt} ($k = 2$) = 0,025 м дано в Приложении С.1.4.4.

А.4.3 Измерения со сканированием по частоте**А.4.3.1 Основные положения**

Измерения с перестройкой по частоте выполняются в трех различных частотных диапазонах с двумя антеннами, установленными на фиксированных высотах. Таким образом, в этом подпункте описаны три измерения с перестройкой по частоте, необходимые для определения частоты f_{max} , на которой сигнал принимает нулевое значение (см. определение в 3.1.3.2).

А.4.3.2 Метод измерений

А.4.3.2.1 Перед измерениями необходимо выполнить первоначальную установку, как описано в 4.4.2, при которой горизонтально поляризованная передающая антенна находится на высоте 2 м и на расстоянии 10 м от приемной антенны.

А.4.3.2.2 Выполните три частотных сканирования относительно частот, f_s , показанных в таблице А.2, с приемной антенной, установленной на соответствующую высоту, h_{rs} .

Т а б л и ц а А.2 – Высоты приемных антенн и центральные частоты

h_{rs} , м	f_s , МГц
2,65	300
1,3	600
1,7	700

А.4.3.2.3 Выполнить сканирование, начиная с частоты, значительно ниже f_s , например, на 100 МГц, до значения $f_{max}(h_{rs})$, которое соответствует резкому максимуму в результатах измерений вносимых потерь SIL, т.е. минимуму в показаниях приемника.

Примечание – Фактическое значение минимума в показаниях приемника не представляет интереса; это значение является лишь индикатором для определения $f_{max}(h_{rs})$.

А.4.3.2.4 Измерить частоту $f_{max}(h_{rs})$ и записать результат вместе с соответствующей неопределённостью измерений $\Delta f_{max}(h_{rs})$.

А.4.3.3 Критерий соответствия

См. также раздел 4.5.3 и рисунок 7 для применения этого подпункта. Площадка для калибровки антенн CALTS соответствует критерию по частоте для максимальных значений вносимых потерь SIL, если на высотах подъема приемной антенны h_{rs} выполняется условие:

$$|f_c - f_{max}| < T_f - \Delta f_m, \quad (\text{A.3})$$

где

f_c – теоретическое значение частоты, соответствующее нулевому сигналу, МГц;

f_{max} – измеренное значение частоты, МГц;

Δf_m – неопределённость измерений частоты ($k = 2$), МГц, в соответствии с А.4.3.4;

T_f – допустимое отклонение f_{max} .

Для f_c , если диполь поддается расчету, можно рассчитать значения вносимых потерь SIL, как описано в Приложении С, используя данные измерительной антенны, описываемые приложением 4.3.2 г) с учетом фактических геометрических размеров L_a , d , h_t и фактической частотой h_{rs} .

Если в стандарте на калибровку антенны, требующем использование площадки типа CALTS, не указано иное, допустимое отклонение составляет $T_f = 0,015f_c$.

А.4.3.4 Неопределённость измерений

Неопределённость Δf_m измерений частоты f_{max} , как определено в А.4.3.3, оценивается по формуле:

$$\Delta f_m = \sqrt{(\Delta f_{max})^2 + (\Delta f_t)^2}, \quad (\text{A.4})$$

где

Δf_{max} – в соответствии с А.4.3.2;

Δf_t – составляющая, учитывающая чувствительность f_{max} к допустимым отклонениям параметров (максимальные значения приведены в таблице 2).

Значение Δf может быть вычислено с использованием модели С.1.4.5.

Если допустимые отклонения параметров соответствуют тем, которые приведены в таблице 2, значение Δf_t ($k = 2$) / $f_c = 0,015$ (безразмерная величина) может использоваться на трех указанных частотах. В этом случае вычисления Δf_t выполнять не нужно, равно как и представлять результаты вычислений в отчете об оценке соответствия CALTS.

Примечание – Обоснование Δf_t ($k = 2$) / $f_c = 0,015$ дано в Приложении С.1.4.5.

Приложение В

(Справочное)

Сведения об измерительных антеннах

В.1 Основные положения

Пример измерительной антенны представлен в В.2, в то время как в В.3 определены свойства симметрирующего устройства как результат измерений S-параметров и/или по результатам измерений вносимых потерь, как указано в 4.3.2 е). Другое описание некоторых материалов в В.3 приведено в С.2.

В.2 Пример измерительной антенны и проверка ее характеристик

На рисунке В.1 приведен пример измерительной антенны, конструкция которой основана на [12] и [14]. Симметрирующее устройство антенны состоит из следующих компонентов и обладает характеристиками:

а) Гибридный ответвитель на 180° номиналом 3 дБ, суммарный порт которого (Σ) всегда заканчивается характеристическим сопротивлением нагрузки (предполагается равным 50 Ом), а разностный порт (Δ) является портом ввода/вывода тестовой антенны.

б) Полужесткие коаксиальные кабели, подключенные к симметричным портам А и В гибридного ответвителя с помощью высококачественных соединителей, например, типа SMA. Кабели имеют длину примерно 0,8 м или более. Такая длина также обусловлена необходимостью обеспечения удаленности проволочных элементов антенны от таких источников отражений как мачта и ответвитель.

в) аттенюаторы номиналом 3 дБ на выходном фланце полужестких кабелей, выполняющие функции стабилизаторов полного сопротивления цепи или согласующих элементов (М), к которым проволочные элементы антенны присоединяются через соединители типа SMA. Эти соединители образуют порты А и В (или порты С и D), упомянутые в 4.4.4 и Приложении С. Внешние проводники этих соединителей электрически связаны с проволочной антенной, как правило, путем пайки внешних проводников полужестких кабелей в точке, где оголяются внутренние проводники. Эта точка контакта является опорной точкой симметрирующего устройства при

выполнении измерений S-параметров.

Оголенный провод, выступающий из конца полужесткого кабеля, должен быть как можно короче, например, 2,5 мм. Конец проволочного элемента или его латунного удлинителя в корпусе элемента должен быть сужен до точки для пайки к открытому концу внутреннего провода коаксиального кабеля. Для более высоких частот антенными элементами могут быть латунные стержни, а для более низких частот тонкостенные и легкие трубки из нержавеющей стали.

г) Вносимые потери SIL между парой идентичных антенн можно вычислить с большой точностью. В данном случае понятие «идентичный» означает, что выполнены требования пункта 4.3.2. Особое внимание стоит обратить на тщательность проектирования участка запитки проволочных элементов антенны. С помощью алгоритма NEC не представляется возможным смоделировать зазор между двумя половинами этого элемента, равно как и фрагмент диэлектрического материала, который используется для поддержки и фиксации проволочных элементов антенны на одной линии. Установлено, что зазор и диэлектрик оказывают незначительное влияние на характеристики антенны в случае, когда зазор составляет менее 9 мм [см. 4.3.2 с)], и когда длина и объем диэлектрика достаточны для обеспечения надежной фиксации диполя заданной длины.

Например, было установлено, что следующие размеры подставки из диэлектрика оказывают влияние менее 0,02 дБ на частоте 30 МГц и менее 0,10 дБ на частоте 700 МГц: 1) для диполя 30 МГц (см. таблицу С.1) зазор 9 мм и цилиндр из материала типа Tufnol диаметром 22 мм длиной 130 мм; и 2) для диполя 700 МГц, зазор 3,6 мм и кубоид из материала типа Delrin (обрабатываемый PTFE) 16 мм на 13 мм на 10 мм, при этом 30% объема изъято для доступа к концам нажимных соединителей.

д) Достоверность расчетов характеристик диполя может быть подтверждена тремя методами измерений, описанными в пунктах 1), 2) и 3), представленных ниже. Первые два метода основаны на наличии площадки для калибровки самого высокого качества. В третьем используются измерения в ближней зоне излучения, которые предъявляют менее строгие требования к качеству площадки. Высококачественная площадка - это площадка, которая обеспечивает соответствие между измеренным и ожидаемым значением вносимых потерь SIL резонансных диполей лучше, чем 0,3 дБ от 30 МГц до 500 МГц, и лучше, чем 0,4 дБ от 501 МГц до 1000 МГц. Площадка соответствует требованиям Приложения А, но для частот ниже 60 МГц может

потребуется большой размер пластины заземления; также на частоте 1000 МГц может потребоваться пластина заземления с кривизной менее ± 5 мм.

Опоры антенны (например, мачты) должны быть неотражающими, в соответствии с рекомендациями в A.2.3 CISPR 16-1-6:2014. Измерение вносимых потерь SIL со многими комбинациями высот и расстояний антенн и на многих частотах может позволить сделать вывод относительно разницы между измеренными и ожидаемым результатами, которая обусловлена качеством площадки или конструкцией антенны. Разница между измерением и ожидаемым значением включается в бюджет неопределенности измерений вносимых потерь SIL. Значение этой неопределенности, входящей в бюджет суммарной неопределенности измерений коэффициента калибровки антенны, составляет половину ее величины.

1) Метод 1: Измерения вносимых потерь SIL между парой идентичных измерительных антенн на площадке с высококачественной пластиной заземления и сравнение с ожидаемым значением вносимых потерь SIL, которые включают измеренные S-параметры симметрирующих устройств антенн.

2) Метод 2: Измерения коэффициентов калибровки антенны на площадке с высококачественной пластиной заземления с использованием метода трех антенн TAM (см. 7.4.1.2 CISPR 16-1-6:2014). Далее необходимо сравнить измеренное значение коэффициента калибровки с ожидаемым значением (см. C.2.5 для расчета). Этот метод свободен от недостатков Метода 1, согласно которым “если измеренные и теоретические значения SIL совпадают, это не доказывает, что измерительные антенны, измерения и модель верны”. Также см. C.1.1 о подтверждении модели NEC аналитическими уравнениями.

3) Метод 3: Измерения вносимых потерь SIL между парой идентичных измерительных антенн в их ближней зоне. Для этого может быть использована полностью безэховая камера FAR, отвечающая требованиям 5.3.2. Далее необходимо сравнить измеренное значение вносимых потерь SIL с ожидаемым SIL, который включает измеренные S-параметры симметрирующего устройства. Чем меньше расстояние между антеннами, тем меньше будет влияние отражений от стен камеры и от элементов креплений антенн. Рекомендуемое измерительное расстояние составляет $\lambda / 2\pi$, где λ - длина волны на резонансной частоте проволочного элемента антенны.

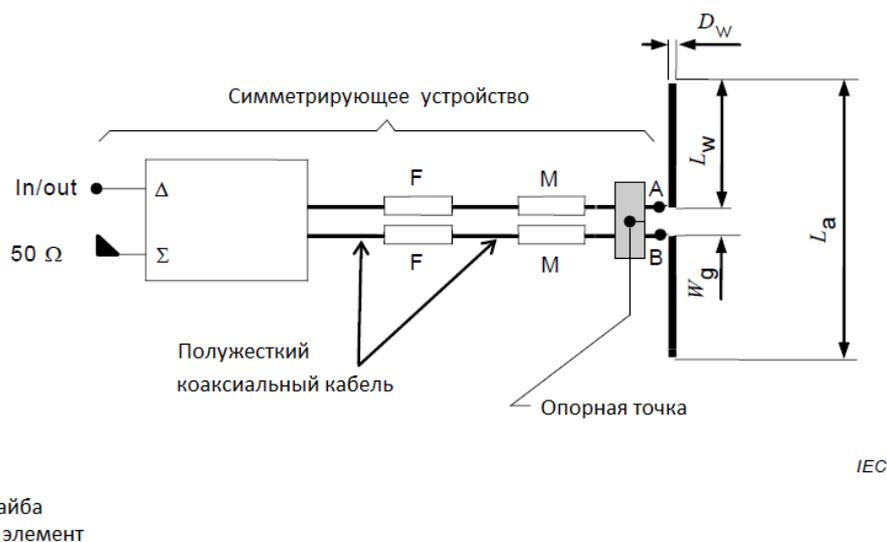
Далее необходимо измерить в диапазоне частот в несколько десятков МГц по обе стороны от резонанса; если пульсация на графике частотной зависимости свидетельствует об отражениях камеры, то требуется повторить измерения на расстоянии $\lambda / 10$. Затем следует определить наилучший из двух результатов измерений на разных расстояниях. Разница между измерением и ожидаемым значением также применима к прогнозированию фактических характеристик в дальней зоне. Если пульсация равномерна в течение нескольких периодов, что указывает на то, что причиной являются отражения от мачты или камеры, а не характеристики антенны, более точный результат может быть получен путем сглаживания пульсации.

е) После того, как выбранная конструкция измерительной антенны была подтверждена одним или несколькими из этих методов и показано соответствие предъявляемым требованиям, в эту конструкцию антенны включается качество площадки. Таким образом считается, что подобная высококачественная площадка выполнила свое функциональное назначение. Также на площадке могут быть выполнены периодические проверки измерительной антенны, как того требует лабораторная система качества, однако для этих целей может оказаться приемлемым техническое решение на основе площадки для калибровки антенн меньшего размера. При этом необходимо доказать, что подобная площадка позволяет обеспечить результаты с требуемой неопределенностью, оценив ее качество с помощью измерительных антенн в их первоначальном рабочем состоянии.

Следует отметить, что вышеупомянутая конструкция симметрирующего устройства является подходящим примером его реализации. Наряду с этим может быть применен любой тип симметрирующего устройства при условии соблюдения требований, изложенных в 4.3.2. В некоторых случаях могут потребоваться ферритовые кольца (F на рисунке В.1) вокруг полужестких кабелей для ограничения индукции синфазных токов на симметрирующем устройстве и подключенном антенном кабеле.

Проволочные элементы антенны должны иметь такую длину, чтобы после крепления измерительная антенна соответствовала требованию $L_a(f)$, изложенному в пункте 4.3.2 б) [см. С.1.1 для расчета $L_a(f)$]. Если характеристики измерительной антенны рассчитываются с использованием NEC, как в С.2, длина элемента не принципиальна; просто нужно ввести данные о его физических размерах. Для таблицы

С.1 было принято, что если $f < 180$ МГц, то диаметр проволочных элементов составляет 10 мм, что придает относительно длинным проволочным антеннам хорошую механическую прочность. Для таблицы С.1 также предполагалось, что при частотах $f \geq 180$ МГц достаточно диаметра элемента 3 мм. На частотах $f < 60$ МГц элементы могут быть телескопическими или может использоваться дипольная антенна фиксированной длины [см. также Примечание 3 к 4.3.2 б)].



Примечание - В симметрирующем устройстве используется коаксиальный гибридный переход

Рисунок В.1 – Пример измерительной антенны

В.3 Определение характеристик симметрирующего устройства

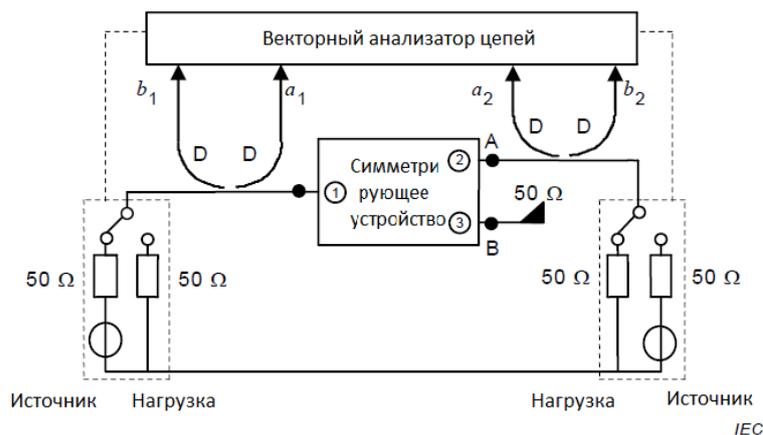
В.3.1 Идеальное симметрирующее устройство без потерь

Идеальное симметрирующее устройство без потерь характеризуется наличием сигналов на портах А и В, которые точно равны по амплитуде и точно на 180° не совпадают по фазе, при условии, что все три порта (см. обведенные кружком 1, 2, 3 на рисунке В.2) оканчиваются на их характеристическом сопротивлении. При том же условии ни один из портов не будет отражать входящий сигнал, и входящий сигнал на порту 2 не передается на порт 3 (и наоборот).

Базовая настройка для измерений S-параметров приведена на рисунке В.2. Несимметричный порт ввода/вывода симметрирующего устройства пронумерован "1",

а симметричные порты пронумерованы “2” и “3”.

Полагается, что характеристическое сопротивление каждого из этих трех портов равно 50 Ом [см. 4.3.2 е)]. По сравнению с рисунком В.1, законченное согласующее устройство (соединитель, кабели и т.д.) представлено на рисунке В.2 одной коробкой с надписью: “Симметрирующее устройство”. Σ -порт гибридного ответвителя на рисунке В.1 всегда заканчивается его характеристическим сопротивлением.



П р и м е ч а н и е 1 – Все обозначения определены в В.3.1.

П р и м е ч а н и е 2 – На этом рисунке источник сигнала и нагрузка меняются местами, переводя оба переключателя в их альтернативное положение.

Рисунок В.2 – Схема измерений S_{11} и S_{12} , а также S_{22} и S_{21} , когда источник сигнала и нагрузка меняются местами

S-параметры задают соотношение между входными сигналами, обозначенными на рисунке В.2 a_1 или a_2 , и отраженными сигналами, обозначенными b_1 и b_2 . Эти сигналы измеряются анализатором с помощью направленных ответвителей (обозначенных как D). Параметры $S_{11} = b_1/a_1$ и $S_{21} = b_2/a_1$ (при условии $a_2 = 0$) измеряются с помощью порта 3 с входным сопротивлением 50 Ом. Замена источника сигнала и нагрузки (путем изменения положения обоих переключателей, показанных на схеме) приводит к измерению $S_{22} = b_2/a_2$ и $S_{12} = b_1/a_2$ (при условии $a_1 = 0$). Аналогично, нагружая порт 2 нагрузкой 50 Ом, затем измеряя между портами 1 и 3, получаем S_{11} и S_{13} , а также S_{31} и S_{33} . Наконец, нагружая порт 1 нагрузкой 50 Ом и измеряя между портами 2 и 3, получаем (снова) S_{22} и S_{33} , а также S_{23} и S_{32} .

S-матрица для идеального согласующего устройства без потерь задается

уравнением (B.1):

$$\begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{B.1})$$

В этой матрице S-параметров $S_{11} = S_{22} = S_{33} = 0$, потому что в портах нет отражений. Поскольку баланс идеален (равные абсолютные значения равны 1, потому что этот симметрирующее устройство без потерь), а сдвиг фазы равен ровно 180° (обозначается знаком минус), то $S_{12} = S_{21} = 1/2$ и $S_{13} = S_{31} = -1/2$. Наконец, $S_{23} = S_{32} = 0$, потому что развязка между портом 2 и портом 3 идеальна.

В.3.2 Взаимосвязь характеристик симметрирующего устройства и S-параметров

Матрица S-параметров может быть преобразована в так называемую матрицу комплексных сопротивлений, которая определяет связь между входным и выходным токами и напряжениями симметрирующего устройства. Нагружая порт 1 на характеристическое сопротивление и рассматривая только порты 2 и 3, можно показать, что (см. [15]):

$$\begin{pmatrix} Z_{22} & Z_{23} \\ Z_{32} & Z_{33} \end{pmatrix} = \frac{Z_0}{(1 - S_{22})(1 - S_{33}) - S_{23}S_{32}} \times \begin{pmatrix} (1 + S_{22})(1 - S_{33}) + S_{23}S_{32} & 2S_{23} \\ 2S_{32} & (1 - S_{22})(1 + S_{33}) + S_{23}S_{32} \end{pmatrix}, \quad (\text{B.2})$$

где Z_0 – измеренное значение полного сопротивления, обычно 50 Ом.

$$Z_{AB} = \frac{1 - S_{22}S_{33} + S_{23}S_{32} - S_{33} + S_{22}}{(1 - S_{22})(1 - S_{33}) - S_{23}S_{32}} 100 = R_{AB} + jX_{AB} (\Omega), \quad (\text{B.3})$$

Измеренное значение Z_{AB} необходимо для расчета A_{iC} (см. Приложение С); полное сопротивление Z_{AB} для другого симметрирующего устройства, необходимое

для этого расчета, определяется аналогичным образом.

Соответствующий КСВН удовлетворяет пункту 4.3.2 д) 1) и таблице 2, если:

$$\frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} < 1,10, \quad \text{где } \Gamma = \frac{Z_{AB} - 100}{Z_{AB} + 100} \quad (\text{В.4})$$

Примечание – Если сам гибридный ответвитель не соответствует требованию, сформулированному в уравнении (В.4), согласованные аттенюаторы (М на рисунке В.1) с обратными потерями > 32 дБ могут снизить КСВН.

Баланс и фазовый сдвиг каждого конкретного симметрирующего устройства проверяются путем рассмотрения:

$$\frac{S_{12}}{S_{13}} = \frac{S_{21}}{S_{31}} = r_b e^{j\varphi_b} \quad (\text{В.5})$$

Баланс амплитуды, r_b , соответствует пункту 4.3.2 д) 2) и таблице 2, если:

$$0,966 < r_b < 1,035 \quad (\text{В.6})$$

и баланс фаз соответствует пункту 4.3.2 д) 3) и таблице 2, если:

$$178^\circ < \left| \frac{180\varphi_b}{\pi} \right| < 182^\circ \quad (\text{В.7})$$

Развязка между портами каждого конкретного симметрирующего устройства проверяется путем рассмотрения фактического значения S_{23} и S_{32} . Это соответствует Примечанию 4 к пункту 4.3.2 д), если:

$$|S_{23}| = |S_{32}| < 0,05 \quad (\text{В.8})$$

Возможные потери в каждом конкретном симметрирующем устройстве учитываются при измерении опорного напряжения U_r , при оценке соответствия площадки для калибровки антенн CALTS (см. 4.4.4.2). Для симметрирующего

устройства, используемого в примере и изображенного на рисунке В.1, большая часть потерь происходит от согласующих элементов на 3 дБ.

В.3.3 Измерения вносимых потерь

В.3.3.1 Основные положения

Технические характеристики симметрирующего устройства, установленные в 4.3.2 д) 2) и 4.3.2 д) 3), также могут быть определены путем измерений вносимых потерь, как показано на рис. В.3 и рис. В.4. По результатам определяется так называемое «отклонение симметрии» симметрирующего устройства.

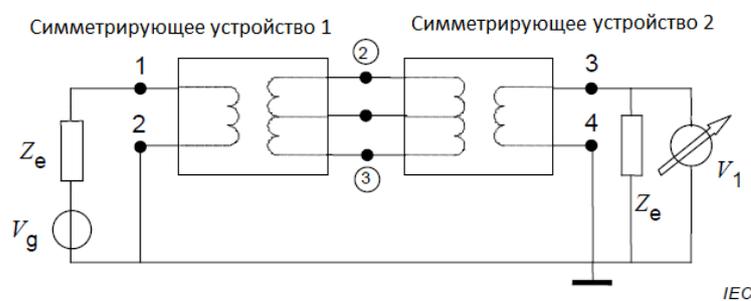


Рисунок В.3 – Схема измерений вносимых потерь $A_1(f)$

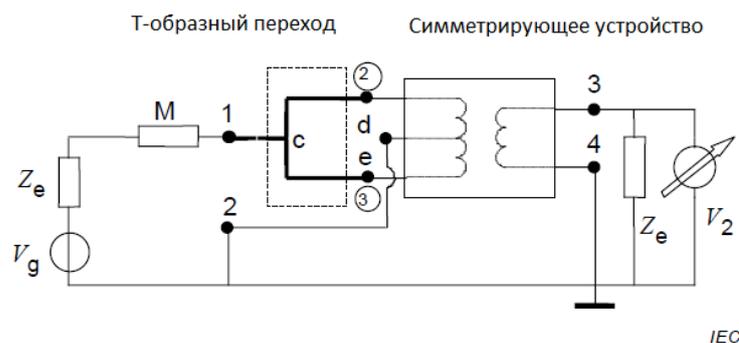


Рисунок В.4 – Схема измерений вносимых потерь $A_2(f)$

Эти измерения включают оценку вносимых потерь $A_1(f)$ двух идентичных симметрирующих устройств, соединенных друг к другу, как в 4.4.4.2.1, и определение вносимых потерь $A_2(f)$ для одного симметрирующего устройства, когда симметричные порты 2 и 3 подключены параллельно (см. также рисунок В.4). Предполагая, что A_1 -

результат равных вкладов двух симметрирующих устройств, то «отклонение симметрии», также называемое отклонением синфазного сигнала, выраженное в дБ, определяется выражением:

$$a_{unbal}(f) = A_2(f) - \frac{A_1(f)}{2}, \text{ дБ} \quad (\text{В. 9})$$

Можно показать, что симметрирующее устройство удовлетворяет вышеупомянутым условиям и соответствующим числовым значениям допусков, приведенным в таблице 2, когда $a_{unbal} > 26$ дБ.

В.3.3.2 Методика измерений

В.3.3.2.1 При первом измерении вносимых потерь определяется опорное напряжение $U_{r1}(f)$ как функция частоты в диапазоне рабочих частот симметрирующего устройства. Измерительная схема аналогична схеме, показанной на рисунке В.3, при отсутствии двух симметрирующих устройств, но с коротким замыканием между точками подключения 1 и 3, а также 2 и 4.

В.3.3.2.2 Затем в измерительную схему вносятся два симметрирующих устройства, подключенных друг к другу, и измеряется напряжение $U_1(f)$ (см. рисунок В.3).

В.3.3.2.3 Тогда $A_1(f)$, выраженный в дБ, определяется следующим выражением:

$$A_1(f) = 20 \lg \left[\frac{U_1(f)}{U_{r1}(f)} \right], \text{ дБ} \quad (\text{В. 10})$$

В.3.3.2.4 При втором измерении вносимых потерь определяется опорное напряжение $U_{r2}(f)$ как функция частоты в диапазоне рабочих частот симметрирующего устройства. Измерительная схема аналогична схеме на рисунке В.4 при отсутствии Т-образного перехода и симметрирующего устройства, но с коротким замыканием между точками подключения 1 и 3, а также 2 и 4.

В.3.3.2.5 Затем в измерительную схему вносятся Т-образный переход и подлежащее проверке симметрирующее устройство и измеряется напряжение $U_{2a}(f)$ (см. рисунок В.4). В этом измерении порты 2 и 3 (см. также рисунок В.2) соединены

параллельно через коаксиальный симметричный Т-образный переход, выполненный из полужестких кабелей и имеющий ту же электрическую длину, что и части с-d и с-е Т-образного перехода (полная механическая симметрия). В этом измерении точка d подключается к порту 2, а точка e - к порту 3. Чтобы избежать эффекта стоячей волны, в измерительную схему необходимо добавить согласующий аттенюатор на 6 дБ, показанный на рисунке В.4 буквой М.

В.3.3.2.6 Чтобы избежать ошибок, вызванных паразитными эффектами, последнее измерение повторяется после изменения схемы соединения между симметрирующим устройством и Т-образным переходом; т.е. точка d подключается к порту 3, а точка e - к порту 2. Этот результат измерений напряжения обозначается как $U_{2b}(f)$.

В.3.3.2.7 Тогда $A_2(f)$, выраженный в дБ, определяется следующим выражением:

$$A_2(f) = 20 \lg \left[\frac{U_{r2}(f)}{\max\{U_{2a}(f), U_{2b}(f)\}} \right], \text{ дБ} \quad (\text{В. 11})$$

Для идеального симметрирующего устройства $A_2(f) = \infty$ дБ, на всех частотах.

В.3.3.2.8 Вместо Т-образного перехода и аттенюатора на 6 дБ можно использовать калиброванный делитель мощности на 6 дБ. В этом случае затухание, вызванное делителем мощности, следует учитывать при расчете «отклонения симметрии» симметрирующего устройства.

Приложение С

(Справочное)

Теория антенн и вносимых потерь SIL

С.1 Аналитические соотношения

С.1.1 Основные положения

В этом приложении представлены аналитические выражения для расчета общей резонансной длины $L_a(f)$ проволочной антенны (С.1.2) и вносимых потерь площадки SIL $A_{ic}(f)$ (С.1.3). Модель учитывает взаимную связь между передающей антенной, приемной антенной и их изображениями относительно отражающей пластины. Также учитывается фактическое распределение поля вдоль приемной антенны; другими словами, не предполагается, что поле, падающее на приемную антенну, является плоской волной. Единственное предположение, сделанное при таком подходе, состоит в том, что распределение тока по проволочной антенне изменяется по гармоническому закону.

Значение A_{ic} , вычисленное аналитически, находится в пределах $\pm 0,01$ дБ от значения A_{ic} , полученного методом моментов, при условии, что в аналитическом подходе используется значение L_a достаточно тонкой проволочной антенны. В контексте этого стандарта достаточно тонкий означает, что радиус R_{we} проволочной антенны удовлетворяет следующему условию [16]:

$$\alpha = 2 \ln \left[\frac{L_a}{R_{we}} \right], \alpha \geq 30 \quad (\text{С. 1})$$

Для полуволнового диполя ($L_a = \lambda_0/2$) это условие сводится к следующему выражению:

$$R_{we} = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{e^\alpha}}, \alpha \geq 30 \quad (\text{С. 2})$$

Для точного расчета вносимых потерь SIL в следующих подразделах используется малый радиус в соответствии с уравнением (С.1), например, для $\alpha = 30$

отношение радиуса к резонансной длине составляет 3×10^{-7} ; однако физически реализованные диполи имеют больший радиус. Чтобы рассчитать резонансную длину физически реализуемых диполей с номиналами радиуса, приведенными в С.1.4, физический радиус вводится в уравнение (С.3), а длина L_a вычисляется для $X_a = 0$ [см. также 4.3.2 б)].

Компьютерная программа в Приложении D с исполняемой версией, доступной, например, через [24], рассчитывает резонансную длину диполя на основе введенной частоты и его радиуса. Значение вносимых потерь SIL, рассчитанное для тонкого диполя, будет применяться с вкладом неопределенности менее 0,1 дБ относительно физического диполя на резонансной частоте, при условии, что отношение радиуса физического диполя к длине составляет менее 0,015, а диаметр провода не превышает длину сегмента.

Численные примеры, включая информацию о неопределенности измерений, приведены в С.1.4. Более точная резонансная длина физического диполя с меньшей погрешностью может быть рассчитана с помощью NEC [22] для условия $X_a = 0$.

Также значения A_{ic} могут быть рассчитаны путем моделирования методом моментов, как описано в С.2. Численное моделирование является более универсальным и дает более точные результаты вне резонансной частоты, чем аналитические уравнения, представленные в этом подпункте. Согласование двух методов на резонансе лучше, чем 0,05 дБ.

С.1.2 Общая длина измерительной антенны

По определению, общая длина $L_a(f)$ измерительной антенны (т.е. резонансного диполя на частоте f) вычисляется путем решения уравнения (С.3).

$$X_a(f, R_{we}) = 0 \quad (\text{С. 3})$$

где

$X_a(f, R_{we})$ - мнимая часть полного сопротивления диполя в свободном пространстве;

R_{we} - радиус проволочного элемента, который остается постоянным по его длине (не телескопические элементы) и должен быть много меньше L_a .

Предполагается, что зазор между точками запитки, W_g , бесконечно мал. Мнимая

часть комплексного сопротивления, X_a , задается уравнением (С.4) (см., например, [17]).

$$X_a = \frac{\eta}{4\pi} \left[2Si(kL_a) + \cos(kL_a)\{2Si(kL_a) - Si(2kL_a)\} - \sin(kL_a) \left\{ 2Ci(kL_a) - Ci(2kL_a) - Ci\left(\frac{2kR_{we}^2}{L_a}\right) \right\} \right] \times \sin^{-2}\left(\frac{kL_a}{2}\right) \quad (\text{С.4})$$

где

η – волновое сопротивление свободного пространства 377 Ом;

k – волновое число, $k = 2\pi/\lambda_0$;

λ_0 – длина волны в свободном пространстве;

$Si(x)$, $Ci(x)$ – определяются выражениями (С.5) и (С.6).

$$Si(x) = \int_0^x \frac{\sin(\tau)}{\tau} d\tau \quad (\text{С.5})$$

$$Ci(x) = \int_{\infty}^x \frac{\cos(\tau)}{\tau} d\tau \quad (\text{С.6})$$

Значения $Si(x)$ и $Ci(x)$ могут быть вычислены с приемлемой точностью по формулам (см. [18]):

$$Si(x) = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - f(x) \cos(x) - g(x) \sin(x) & (x \geq 1) \\ \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{2n+1}}{(2n+1)(2n+1)!} & (x < 1) \end{cases} \quad (\text{С.7})$$

$$Ci(x) = \begin{cases} f(x) \sin(x) - g(x) \cos(x) & (x \geq 1) \\ \gamma + \ln(x) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n x^{2n}}{2n(2n)!} & (x < 1) \end{cases} \quad (\text{C.8})$$

$$f(x) = \frac{1}{x} \left(\frac{x^4 + a_1 x^2 + a_2}{x^4 + b_1 x^2 + b_2} \right), \quad g(x) = \frac{1}{x^2} \left(\frac{x^4 + c_1 x^2 + c_2}{x^4 + d_1 x^2 + d_2} \right) \quad (\text{C.9})$$

При этом:

$$\begin{array}{llll} a_1 = 7,241\ 163 & b_1 = 9,068\ 580 & c_1 = 7,547\ 478 & d_1 = 12,723\ 684 \\ a_2 = 2,463\ 936 & b_2 = 7,157\ 433 & c_2 = 1,564\ 072 & d_2 = 15,723\ 606 \end{array}$$

В предыдущем выражении γ - это постоянная Эйлера-Маскерони ($\sim 0,5772$).
Результирующие данные $L_a(f)$ в таблице С.1 получаются в результате решения уравнения (С.3) с использованием уравнений (С.4)-(С.9).

С.1.3 Теоретическое значение вносимых потерь SIL

С.1.3.1 Модель двухполюсника

Теоретическое значение вносимых потерь SIL, A_{ic} , рассчитывается с использованием модели двухполюсника [19] (см. рисунок С.1). Высокочастотный генератор подает сигнал на питающие клеммы А и В на симметрирующем устройстве излучающей антенны. Сигнал, поступающий на входные клеммы С и D приемной антенны, измеряется на комплексном сопротивлении приемника Z_r . Кабели и симметрирующие устройства представлены Т-образными электрическими цепями.

При измерении опорных напряжений $U_{r1}(f)$ и $U_{r2}(f)$ (см. 4.4.4.2.1 и 4.4.4.2.3) выводы питания А и С замкнуты между собой коротким проводником с незначительным сопротивлением. Аналогичным образом замкнуты В и D. При измерении $U_s(f)$ (см. 4.4.4.2.2) с проволочными элементами антенн, подключенными к выводам питания, и измерительными антеннами, размещенными в их заданных положениях на испытательной площадке, влияние площадки на передачу сигнала представлено Т-образной электрической цепью с портами АВ и CD, как показано на рисунке С.1.

Схема на рисунке С.1 может быть упрощена до схемы на рисунке С.2, в которой Z_{AB} и Z_{CD} представляют собой измеренные комплексные сопротивления симметричного порта (см. Приложение В). Z_{AB} на рисунке С.2 - это комплексное сопротивление, представленное дипольным элементом симметрирующего устройства. Из схемы на рисунке С.2 следует, что при измерении опорного напряжения U_r (так что $Z_1 = Z_2 = 0$ и $Z_3 = \infty$):

$$U_{CD} = U_{CD,r} = \frac{Z_{CD}}{Z_{AB} + Z_{CD}} U_t \quad (C.10)$$

Из этого также следует, что при измерении напряжения отклика “площадки” U_s :

$$U_{CD} = U_{CD,s} = \frac{Z_{CD}Z_3}{(Z_{AB} + Z_1 + Z_3)(Z_{CD} + Z_2 + Z_3) - Z_3^2} U_t \quad (C.11)$$

Тогда расчетное значение вносимых потерь SIL $A_{i,c}$ рассчитывается как:

$$A_{i,c} = \frac{U_{CD,r}}{U_{CD,s}} = \frac{(Z_{AB} + Z_1 + Z_3)(Z_{CD} + Z_2 + Z_3) - Z_3^2}{Z_3(Z_{AB} + Z_{CD})} \quad (C.12)$$

Следующим шагом является соотнесение комплексных сопротивлений Z_1 , Z_2 и Z_3 с фактической установкой оборудования, как показано на рисунке С.3, т.е. для двух измерительных антенн над отражающей пластиной (заземления).

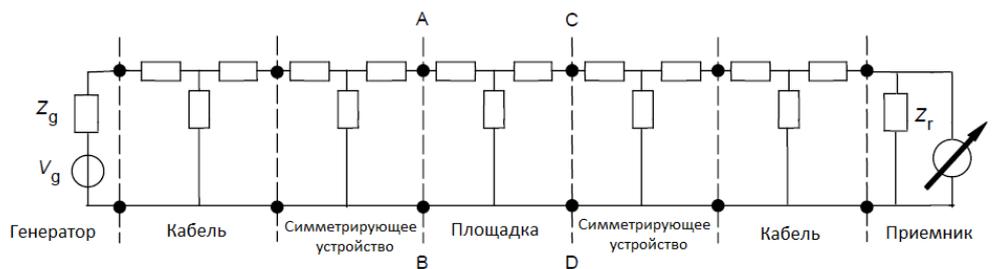


Рисунок С.1 – Модель электрической цепи для расчета вносимых потерь $A_{i,c}$

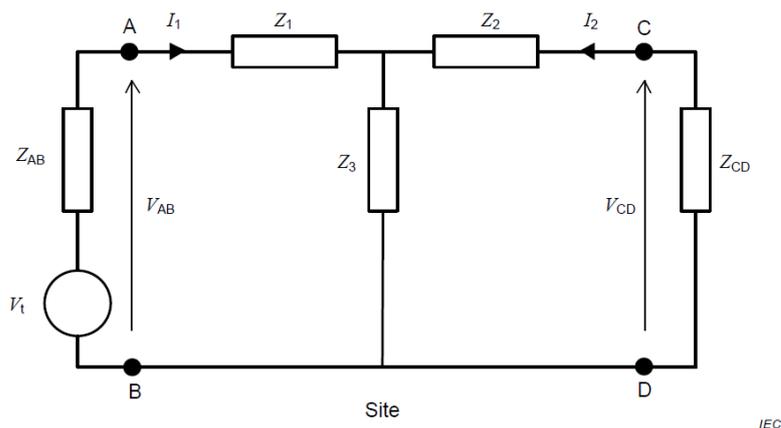


Рисунок С.2 – Эквивалентная схема электрической цепи, представленной на рисунке С.1

С.1.3.2 Измерительная антенна над отражающей пластиной

На передачу сигнала между портом передачи (порт 1, входные клеммы А и В) и портом приема (порт 2, выходные клеммы С и D) влияют различные связи между антеннами и их изображениями. На рисунке С.3 это обозначено переходными сопротивлениями Z_{nm} , где n и m - это числа от 1 до 4 и $n \neq m$.

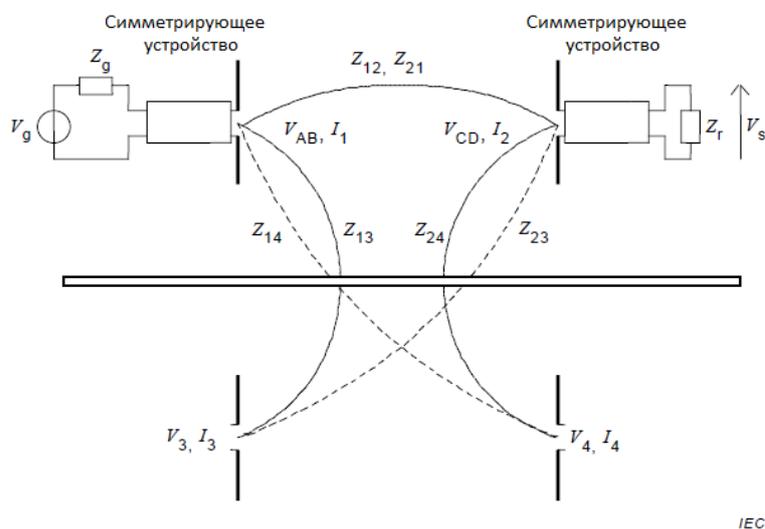


Рисунок С.3 – Схема для определения взаимных связей, напряжений на выводах питания и токов в антеннах при их установке над отражающей пластиной, а также их изображения

Напряжения на клеммах U_{AB} и U_{CD} связаны с антенными токами с I_1 по I_4 для

четырёх антенн, изображенных на рисунке С.3, через выражение:

$$\begin{aligned} U_{AB} &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + Z_{13}I_3 + Z_{14}I_4 \\ U_{CD} &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + Z_{23}I_3 + Z_{24}I_4 \end{aligned} \quad (\text{С. 13})$$

Для теоретической отражающей пластины и в случае горизонтально поляризованных антенн, которые выровнены параллельно друг другу, тогда $I_3 = \rho I_1$ и $I_4 = \rho I_2$, где $\rho = re^{j\varphi}$ - комплексный коэффициент отражения проводящей пластины. В идеальном случае $\rho = -1$ для текущей конфигурации. Более того, из-за взаимности $Z_{12} = Z_{21}$ и $Z_{23} = Z_{14}$. Таким образом, уравнение (С.13) сводится к виду:

$$\begin{aligned} U_{AB} &= (Z_{11} + \rho Z_{13})I_1 + (Z_{12} + \rho Z_{14})I_2 \\ U_{CD} &= (Z_{12} + \rho Z_{14})I_1 + (Z_{22} + \rho Z_{24})I_2 \end{aligned} \quad (\text{С. 14})$$

Из схемы на рисунке С.2 следует:

$$\begin{aligned} U_{AB} &= (Z_1 + Z_3)I_1 + Z_3I_2 \\ U_{CD} &= Z_3I_1 + (Z_2 + Z_3)I_2 \end{aligned} \quad (\text{С. 15})$$

И, сравнивая с выражением (С.14), получаем:

$$\begin{aligned} Z_1 + Z_3 &= Z_{11} + \rho Z_{13} \\ Z_2 + Z_3 &= Z_{22} + \rho Z_{24} \\ Z_3 &= Z_{12} + \rho Z_{14} \end{aligned} \quad (\text{С. 16})$$

Таким образом, выражение (С.12) может быть представлено в виде:

$$A_i = \frac{(Z_{AB} + Z_{11} + \rho Z_{13})(Z_{CD} + Z_{22} + \rho Z_{24}) - (Z_{12} + \rho Z_{14})^2}{(Z_{12} + \rho Z_{14})(Z_{AB} + Z_{CD})} \quad (\text{С. 17})$$

Из уравнения (С.13) следует, что Z_{11} и Z_{22} являются входными комплексными сопротивлениями проволочной антенны в свободном пространстве, т.е. в отсутствие отражающей пластины. Мнимые части этих комплексных сопротивлений вычисляются

из $X_{11} = X_{22} = X_a$, как указано в уравнении (С.4), а действительные части $R_{11} = R_{22} = R_a$ из выражения:

$$R_a = \frac{\eta}{2\pi} \left[\gamma + \ln(kL_a) - Ci(kL_a) + \frac{1}{2} \sin(kL_a) \times [Si(2kL_a) - 2Si(kL_a)] \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \cos(kL_a) \times \left[\gamma + \ln\left(\frac{kL_a}{2}\right) + Ci(2kL_a) - 2Ci(kL_a) \right] \right] \quad (C.18) \\ \times \sin^{-2}\left(\frac{kL_a}{2}\right)$$

В уравнении (С.18) γ - постоянная Эйлера-Маскерони ($\sim 0,5772$). Взаимные комплексные сопротивления Z_{11} , Z_{12} , Z_{13} и Z_{14} вычисляются с помощью теоремы о взаимности Лоренца ([16] и [17]). В этом расчете учитывается фактическое поле вдоль проволочной антенны, что приводит к отсутствию необходимости считать, что на приемную антенну падает плоская волна. Единственное предположение, сделанное при таком подходе, состоит в том, что распределение тока на проводных антеннах изменяется по гармоническому закону, что справедливо, если $L_a(f) \approx \lambda_0/2$ и если R_{we} удовлетворяет условию, приведенному в уравнении (С.2).

Если $Z_{nm} = (R_{nm} + jX_{nm})$ ($n = 1 \dots 4$, $m = 1 \dots 4$, $n \neq m$), то действительная часть комплексного сопротивления вычисляется следующим образом [16]:

$$R_{nm} = \frac{\eta}{2\pi} \{2[2Ci(kd_{nm}) - Ci(ks_3) - Ci(ks_4)] \\ + \cos(kL_a) \times \\ \times [2Ci(kd_{nm}) + Ci(ks_1) + Ci(ks_2) - 2Ci(ks_3) - 2Ci(ks_4)] \\ + \sin(kL_a) \times [Si(ks_1) - Si(ks_2) - 2Si(ks_3) + 2Si(ks_4)]\} \quad (C.19) \\ \times \sin^{-2}\left(\frac{kL_a}{2}\right)$$

мнимая часть:

$$X_{nm} = \frac{-\eta}{4\pi} \{2[2Si(kd_{nm}) - Si(ks_3) - Si(ks_4)] \\ + \cos(kL_a) \times [2Si(kd_{nm}) + Si(ks_1) + Si(ks_2) - Si(ks_3) - 2Si(ks_4)] \\ + \sin(kL_a) \times [Ci(ks_1) - Ci(ks_2) - 2Ci(ks_3) + 2Ci(ks_4)]\} \quad (C.20) \\ \times \sin^{-2}\left(\frac{kL_a}{2}\right)$$

где d_{nm} – расстояние между центрами антенн n и m , и:

$$\begin{aligned} s_1 &= \sqrt{d_{nm}^2 + L_a^2} + L_a \\ s_2 &= \sqrt{d_{nm}^2 + L_a^2} - L_a \\ s_3 &= \sqrt{d_{nm}^2 + \left(\frac{L_a}{2}\right)^2} + \frac{L_a}{2} \\ s_4 &= \sqrt{d_{nm}^2 + \left(\frac{L_a}{2}\right)^2} - \frac{L_a}{2} \end{aligned} \tag{C.21}$$

Таким образом, A_{iC} , как требуется в 4.5.3, вычисляется из уравнения (C.17), поскольку все комплексные сопротивления в этом уравнении известны; т.е. Z_{AB} и Z_{CD} из экспериментальных данных (см. Приложение В), а другие комплексные сопротивления рассчитаны из уравнений (C.4) и с (C.18) по (C.21). Те же уравнения используются для вычисления $A_{iC}(h_r)$ на заданной частоте, для определения $h_{r, \max}(f_s)$, как требуется в А.4, и для вычисления неопределённости измерений ΔA_t и $\Delta h_{r, \max}$, как требуется в 4.5.2.2 и А.4.

С.1.4 Примеры вычислений

С.1.4.1 Основные положения

Пример результатов расчетов приведен в таблице С.1 с вычислениями L_a и A_{iC} , в таблице С.2 с вычислениями ΔA_t , в таблице С.3 с вычислениями h_{rc} и Δh_{rt} и в таблице С.4 с вычислениями f_c и Δf_t . Во всех расчетах высота приемной антенны и высота передающей антенны, расстояние между центрами антенн в горизонтальной плоскости и частоты имеют значения, указанные в 4.4. При выполнении расчетов неопределённости измерений использовались допускаемые отклонения, приведенные в таблице 2.

В диапазоне частот $30 \text{ МГц} \leq f < 180 \text{ МГц}$ было принято, что радиус проволочной антенны $R_{we} = 5,0 \text{ мм}$, и $R_{we} = 1,5 \text{ мм}$ для диапазона частот $180 \text{ МГц} \leq f \leq 1 \text{ 000 МГц}$.

С.1.4.2 Вычисления длины антенны L_a и вносимых потерь $A_{i,c}$ (Таблица С.1)

Длина антенны $L_a(f)$ была рассчитана по уравнению (С.3). Значение $A_{i,c}(f)$ было рассчитано из уравнений с (С.17) по (С.21) при условии, что симметрирующие устройства идеальные с симметричными комплексными сопротивлениями портов, имеющими предпочтительное значение $(100 + j0)$ Ом, и отражающая пластина идеальная, т.е. $\rho = -1$.

Т а б л и ц а С.1 – Пример результатов численных (аналитических) расчетов длины антенны L_a и вносимых потерь $A_{i,c}$ (см. С.1.4.2)

f МГц	h_r м	R_{we} мм	L_a м	$A_{i,c}$ дБ	f МГц	h_r м	R_{we} мм	L_a м	$A_{i,c}$ дБ
30	4,00	5,00	4,803	21,030	160	2,00	5,00	0,885	26,440
35	4,00	5,00	4,112	20,950	180	2,00	1,50	0,797	27,520
40	4,00	5,00	3,594	20,600	200	2,00	1,50	0,716	29,370
45	4,00	5,00	3,192	20,700	250	1,50	1,50	0,572	30,430
50	4,00	5,00	2,870	21,120	300	1,50	1,50	0,476	32,470
60	4,00	5,00	2,388	22,130	400	1,20	1,50	0,355	34,900
70	4,00	5,00	2,043	21,760	500	2,30	1,50	0,283	37,020
80	4,00	5,00	1,785	20,930	600	2,00	1,50	0,236	38,350
90	4,00	5,00	1,585	21,490	700	1,70	1,50	0,201	39,590
100	4,00	5,00	1,425	22,970	800	1,50	1,50	0,176	40,910
120	4,00	5,00	1,185	25,160	900	1,30	1,50	0,156	41,840
140	2,00	5,00	1,013	27,200	1000	1,20	1,50	0,140	42,710

С.1.4.3 Расчет неопределённости измерений ΔA_t (Таблица С.2)

Неопределённость измерений ΔA_t (4.5.2.2) с коэффициентом охвата $k = 2$ (95 % вероятности) вычисляется следующим образом (см. [20]):

$$A_t = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\sum_{i=1}^9 \Delta A_{i,c}^2(i)} \quad (C.22)$$

предполагая прямоугольное распределение вероятностей переменных $\Delta A_{i,c}(i)$ и учитывая неопределенности в $p = 9$ переменных: $h_r, h_t, d, f, Z_{AB}, Z_{CD}, L_A, A_b$ и φ_b (см. еще Таблицу 2).

Для шести первых переменных значение $\Delta A_{i,c}$ вычисляется по формуле:

$$\Delta A_{i,c}(i) = \max\{|A_{i,c} - A_{i,c}(p_i \pm \Delta p_i)|\} \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (C.23)$$

где

$A_{i c}$ – номинальное значение вносимых потерь площадки SIL, вычисленное в соответствии с С.1.4.2;

$A_{i c} - A_{i c}(p_i + \Delta p_i)$ – расчетное значение вносимых потерь SIL плюс допусковое отклонение Δp ;

$A_{i c} - A_{i c}(p_i - \Delta p_i)$ – расчетное значение вносимых потерь SIL минус допусковое отклонение Δp .

Результаты расчета $\Delta A_{i c}$, обусловленные Δh_r , Δh_t , Δd , Δf и указанные в таблице 2, представлены в столбцах с 3 по 6 таблицы С.2.

Примечание - При расчете Δf длина антенны L_A остается постоянной, равной L_A на номинальной частоте.

Для комплексных сопротивлений Z_{AB} и Z_{CD} в таблице 2 указано максимальное значение КСВН 1,10. В настоящем численном примере это означает, что оба комплексных сопротивления представляют собой окружность (центр $p = 100 + j0$ Ом, радиус $\Delta p = 9,5$ Ом) в качестве границы на плоскости комплексных сопротивлений. Исследования показывают, что достаточно выполнить вычисления только для $p = (100 \pm \Delta p + j0)$ и $p = (100 \pm j\Delta p)$. Результаты расчетов приведены в столбцах 7 и 8. Обратите внимание, что значения $\Delta A_{i c}$, приведенные в таблице С.2 в столбцах 7 и 8, равны только тогда, когда $h_r = h_t$.

Величина $\Delta A_{i c}$, связана с L_a , A_b и φ_b и может быть оценена только с помощью численного моделирования, как показано в С.2. Используя эти методы, было установлено, что $\Delta A_{i c}(L_a) < 0,03$ дБ, и что $\Delta A_{i c}(A_b, \varphi_b) < 0,03$ дБ.

В столбце 9 таблицы С.2 приводятся значения радикала, рассчитанные по формуле

$\Delta A_{\Sigma} = [\sum\{\Delta A_{i c}^2(i)\}]^{1/2}$ из шести значений $\Delta A_{i c}$ в предыдущих столбцах. Значения $k = 2$ (уровень достоверности 95 %) в столбце 10 получены в результате умножения значений столбца 9 на $2/\sqrt{3}$ [см. Уравнение (С.22)]. Значения $k = 2$ (уровень достоверности 95 %) ΔA_t получены по следующей формуле:

$$\Delta A_t(k=2) = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^6 \Delta A_{i_c}^2(i) \right\} + \Delta A_{i_c}^2(L_a) + \Delta A_{i_c}^2(A_b, \varphi_b)} \quad (C.24)$$

Зная, что $A_{i_c} = 0,03$ дБ и $A_{i_c}(A_b, \varphi_b) = 0,03$ дБ, получены значения ΔA_t , приведенные в столбце 11. В этом примере максимальное значение равно $\Delta A_t = 0,19$ дБ (при частоте 80 МГц), поэтому в пункте 4.5.2.2 значение $\Delta A_t = 0,20$ дБ.

Т а б л и ц а С.2 – Пример численного (аналитического) расчета ΔA_t (см. С.1.4.3)

Частота, МГц	A_{i_c} , дБ	$\Delta A_{i_c}(\Delta h_r)$, дБ	$\Delta A_{i_c}(\Delta h_t)$, дБ	$\Delta A_{i_c}(\Delta d)$, дБ	$\Delta A_{i_c}(\Delta f)$, дБ	$\Delta A_{i_c}(\Delta Z_{AB})$, дБ	$\Delta A_{i_c}(\Delta Z_{CD})$, дБ	RSS ΔA_{Σ} , дБ	$k=2$ ΔA_{Σ} , дБ	$k=2$ ΔA_t , дБ
30	21,03	0,023	0,018	0,056	0,031	0,110	0,026	0,13	0,15	0,16
35	20,95	0,028	0,020	0,051	0,007	0,080	0,057	0,12	0,13	0,14
40	20,60	0,025	0,024	0,054	0,005	0,059	0,105	0,14	0,16	0,16
45	20,70	0,013	0,028	0,055	0,013	0,036	0,121	0,14	0,16	0,17
50	21,12	0,001	0,033	0,048	0,016	0,010	0,106	0,12	0,14	0,15
60	22,13	0,002	0,044	0,051	0,005	0,027	0,049	0,09	0,10	0,11
70	21,76	0,019	0,050	0,050	0,038	0,061	0,058	0,12	0,14	0,14
80	20,93	0,014	0,041	0,038	0,039	0,104	0,098	0,13	0,18	0,19
90	21,49	0,011	0,012	0,035	0,011	0,121	0,084	0,15	0,18	0,18
100	22,97	0,007	0,021	0,036	0,027	0,106	0,056	0,13	0,15	0,15
120	25,16	0,008	0,039	0,012	0,018	0,051	0,092	0,12	0,13	0,14
140	27,20	0,043	0,043	0,047	0,029	0,055	0,055	0,11	0,13	0,14
160	26,44	0,030	0,032	0,046	0,023	0,097	0,097	0,15	0,18	0,18
180	27,52	0,021	0,021	0,039	0,029	0,086	0,086	0,13	0,16	0,16
200	29,37	0,015	0,015	0,029	0,017	0,057	0,057	0,09	0,10	0,11
250	30,43	0,035	0,019	0,038	0,027	0,089	0,072	0,13	0,15	0,15
300	32,47	0,010	0,008	0,016	0,020	0,075	0,076	0,11	0,13	0,13
400	34,90	0,042	0,054	0,008	0,016	0,084	0,092	0,14	0,16	0,17
500	37,02	0,005	0,006	0,047	0,009	0,068	0,069	0,11	0,12	0,13
600	38,35	0,000	0,004	0,013	0,012	0,075	0,075	0,11	0,12	0,13
700	39,59	0,002	0,046	0,017	0,008	0,080	0,072	0,12	0,14	0,14
800	40,91	0,004	0,051	0,008	0,009	0,071	0,075	0,12	0,13	0,14
900	41,84	0,005	0,018	0,025	0,009	0,075	0,068	0,11	0,12	0,13
1000	42,71	0,011	0,062	0,004	0,010	0,079	0,075	0,13	0,15	0,15
Максимальные значения ΔA , дБ		0,043	0,062	0,056	0,039	0,121	0,121	0,16	0,18,	0,19

Примечание – Последняя строка в этой таблице - это максимальные значения для каждого столбца. Три цифры после десятичного знака в столбцах 3-8 не имеют физического значения и приведены только для сравнения результатов расчетов.

С.1.4.4 Расчет h_{rc} и Δh_{rt} (таблица С.3)

В этом подпункте рассматривается высота $h_{r,max}(f_s)$ в контексте ее описания в А.4.2. Ее значения определяются путем поиска первого резкого максимума в значениях вносимых потерь SIL при $h_r > 1$ м. В данном случае представляет интерес резкий максимум, т.е. максимум, обусловленный взаимодействием падающей и отраженной волн в приемной антенне. Результаты расчета h_{rc} (см. А.4) на частотах f_s , указанных в пункте А.4.2.2, приведены в таблице С.3.

Также в таблице С.3 приведены результаты расчетов неопределенности измерений $\Delta h_{r,max}$, аналогичные приведенным в пункте С.1.4.3, с использованием допусков, приведенных в таблице 2. В случае $h_{r,max}$, значимую роль играют только допуски Δh_t , Δd и Δf . Найденные максимальные значения Δh_{rt} (при $k = 2$) составляют 0,02 м, поэтому в пункте А.4.2.3 упомянуто значение 0,025 м.

Т а б л и ц а С.3 – Пример численного (аналитического) расчета h_{rc} и Δh_{rt}

Частота, МГц	h_{rc} , м	Δh_{rc} (Δh_t), м	Δh_{rc} (Δd), м	Δh_{rc} (Δf), м	RSS $\Delta h_{rc\Sigma}$, м	$k = 2$ Δh_{rt} , м
300	2,630	0,014	0,010	0,004	0,017	0,020
600	1,284	0,006	0,005	0,005	0,010	0,011
900	1,723	0,008	0,009	0,002	0,013	0,015
Максимум	–	0,014	0,010	0,005	0,017	0,020

С.1.4.5 Расчет f_c и Δf_t (таблица С.4)

В этом подпункте рассматривается частота $f_{max}(h_r, f_s)$ в контексте ее описания в А.4.3. Ее значения определяются путем поиска максимума в значениях вносимых потерь SIL для указанных комбинаций $\{h_r, f_s\}$. В данном случае представляет интерес резкий максимум, т.е. максимум, связанный с взаимодействием прямой и отраженной волн в приемной антенне. Результаты f_c (см. А.4.3.2) при комбинациях, указанных в А.4.3, приведены в таблице С.4.

Также в таблице С.4 приведены результаты расчетов неопределенности измерений, дающие значения $\Delta f_t/f_c$, аналогичные приведенным в С.1.4.3, с использованием допусков, приведенных в таблице 2. В случае f_{max} значимую роль играют только допуски Δh_r , Δh_t и Δd . Максимальное значение Δf_t (при $k = 2$) составляет $0,012f_c$, поэтому в А.4.3.3 упомянуто значение $0,015f_c$.

Т а б л и ц а С.4 – Пример численного (аналитического) расчета f_c и Δf_t

Частота/ высоту, МГц/м	f_c , МГц	$\Delta f_c/f_c$ (Δh_r)	$\Delta f_c/f_c$ (Δh_t)	$\Delta f_c/f_c$ (Δd)	RSS $\Delta f_{c\Sigma}/f_c$	$k = 2$ $\Delta f_t/f_c$
300/2,65	297,4	0,004	0,006	0,005	0,009	0,010
600/1,30	592,6	0,008	0,005	0,004	0,010	0,012
900/1,70	912,1	0,006	0,005	0,004	0,009	0,010
Максимум	–	0,008	0,006	0,005	0,010	0,012

С.2 Вычисления методом моментов (МоМ)

С.2.1 Общие положения

В этом подпункте рассмотрен альтернативный пункту С.1 подход с дополнительными возможностями для расчета коэффициента калибровки антенны. Дополнительное описание некоторых материалов, приведенных в С.2, также изложено в В.3. Подход, предложенный в данном подпункте, основан на методе моментов МоМ. Наиболее часто используемым программным обеспечением для проволочных антенн является NEC2 [22], которое доступно как на платной основе, так и бесплатно. Одним из примеров программного обеспечения для моделирования проволочных антенн CAP2010 [24], которое позволяет рассчитывать вносимые потери площадки SIL и коэффициент калибровки антенны в свободном пространстве и над пластиной заземления. CAP2010 отличается от бесплатной версии NEC утилитами, включающими возможность ввода S-параметров для симметрирующих устройств антенн, что имеет решающее значение для получения достоверных результатов в широкой полосе частот [23], [25].

В методе моментов МоМ антенны представляются прямолинейными проводниками, которые разделяются на сегменты. Для достижения требуемых точностных показателей необходимо, чтобы сегменты не были слишком длинными и слишком короткими относительно длины волны, а также, чтобы длина сегмента превышала его диаметр; правила приведены в руководстве по эксплуатации, прилагаемой к программному обеспечению. С помощью 31 сегмента для резонансного диполя с радиусом, удовлетворяющим условию уравнения (С.1), расхождение в A_{ic} между аналитическими расчетами в С.1.3 и вычислениями по методу моментов МоМ в С.2 составляет менее 0,05 дБ [23] (см. С.1.1).

Подробная информация о расчетах $A_{i,c}$, приведена в С.2.4.1. Расхождение между измеренными и теоретическими результатами вносимых потерь SIL менее 0,6 дБ в широкой полосе $[(f_c \pm f_c/2)]$, где f_c – центральная, или резонансная, частота] для практически реализуемых радиусов диполей (приведены в [23]); для идентичных антенн подразумевается расхождение коэффициента калибровки антенны менее чем 0,3 дБ.

Чтобы проверить правильность выбранной сегментации, необходимо оценить сходимость рассчитанных импеданса и тока по мере увеличения количества сегментов. Бесконечная, идеально проводящая пластина заземления может быть включена в модель в программе. Также с помощью программы можно точно запитать антенный элемент и подключить в этой точке сопротивление нагрузки с сосредоточенными параметрами.

С.2.2 Входной импеданс антенны

Входное полное сопротивление антенны, Z_a , в точке подачи питающего напряжения определяется по результатам расчетов программы.

С.2.3 Общая длина измерительной антенны

Длина антенны выбирается таким образом, чтобы она была резонансной (т.е. имела нулевое входное реактивное сопротивление) в свободном пространстве. Длина выбирается в несколько итераций. Начинать следует с длины антенны $\lambda/2$, а далее запускается программа для расчета входного реактивного сопротивления. Если входное реактивное сопротивление положительное, то длина антенны уменьшается, если оно отрицательное, то длина антенны увеличивается. Программа выполняет расчеты до тех пор, пока модуль входного реактивного сопротивления не станет меньше 1 Ом. На этом этапе длина антенны корректна.

Требования к резонансной длине для аналитических расчетов очень высокие, в отличие от программного обеспечения NEC, для которого это не критично. Достаточно просто ввести физические размеры проволочного элемента. Расхождение между измеренными и вычисленными характеристиками измерительной антенны является минимальным в области резонансной частоты, но незначительно ухудшается вдали от нее, где собственное полное сопротивление проволочного элемента становится большим, что увеличивает это расхождение.

С.2.4 Вычисления вносимых потерь площадки SIL

С.2.4.1 Вносимые потери площадки SIL для дипольных антенн

С.2.4.1.1 Этапы вычисления вносимых потерь площадки SIL для дипольных антенн

Чтобы рассчитать вносимые потери SIL для пары измерительных антенн, поляризованных горизонтально или вертикально и размещенных над идеальной открытой испытательной площадкой (ideal OATS) или в свободном пространстве, необходимо последовательно выполнить следующие этапы; более подробная информация приводится в соответствующих пунктах, указанных в скобках []. Для штыревых антенн см. С.2.4.2. Эти этапы, кроме измерений, описанных в b), автоматически выполняются, например, с помощью программного обеспечения CAP2010 [24], используя девять S-параметров из b) в качестве входных данных. Модель цепи, представляющей собой последовательное соединение двух симметрирующих устройств через площадку в виде двухполюсника, показана на рисунке С.4. Блок-схема выполнения этапов показана на рисунке С.5.

a) [С.2.4.1.2] Используя метод моментов MoM, необходимо вычислить S-параметры «площадки-двухполюсника», т.е. двухпортового устройства, состоящего из пары антенн над идеальной открытой испытательной площадкой или в свободном пространстве. Примеры входных файлов NEC приведены в С.2.4.1.9.

b) [С.2.4.1.3] Для каждого симметрирующего устройства с помощью векторного анализатора цепей необходимо измерить 9 комплексных S-параметров трехпортового симметрирующего устройства.

c) [С.2.4.1.4] Для каждого из двух симметрирующих устройств уменьшить девять S-параметров трехпортового симметрирующего устройства до четырех S-параметров эквивалентного двухполюсника (т.е. двухполюсника, который имеет один симметричный и один несимметричный порт). При расчете предполагается, что два выходных порта симметрирующего устройства идеально симметричные и находятся в противофазе, однако, учитывая допуски, приведенные в Таблице 2, могут появиться незначительные расхождения.

d) [С.2.4.1.5] Необходимо объединить S-параметры двух симметрирующих устройств и площадки-двухполюсника, чтобы получить S-параметры последовательного соединения симметрирующего устройства передающей антенны,

площадки-двухполюсника и симметрирующего устройства приемной антенны.

е) [C.2.4.1.6] Рассчитайте вносимые потери SIL как потери последовательного соединения симметрирующих устройств и площадки-двухполюсника.

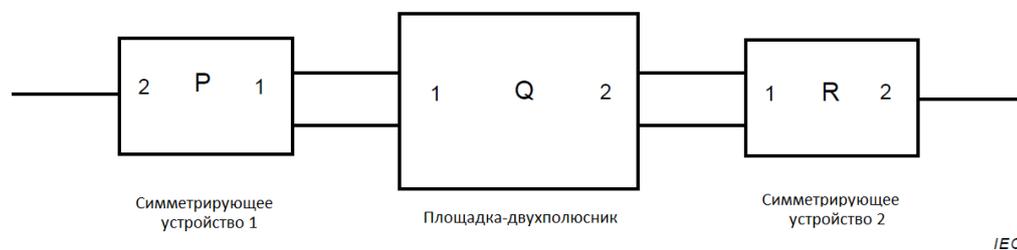
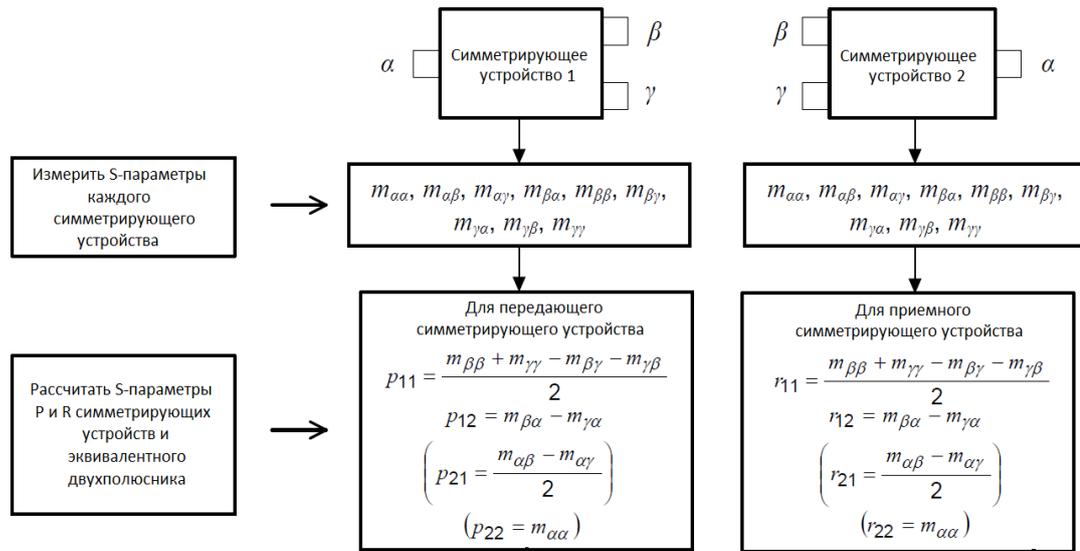
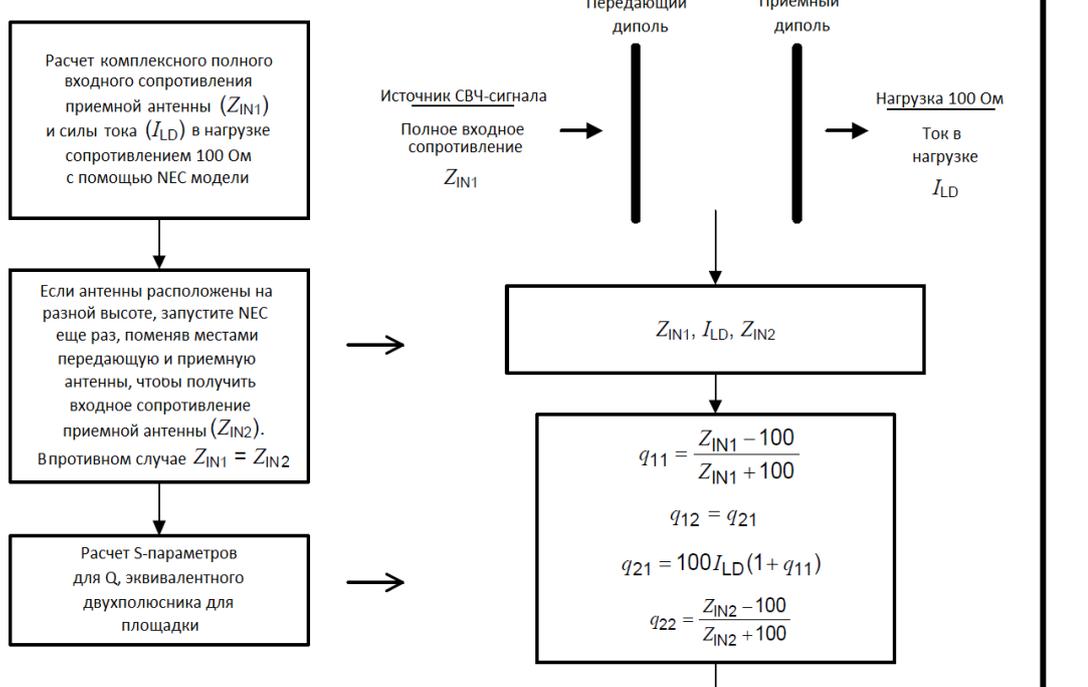


Рисунок С.4 – Последовательное соединение симметрирующих устройств и площадки-двухполюсника

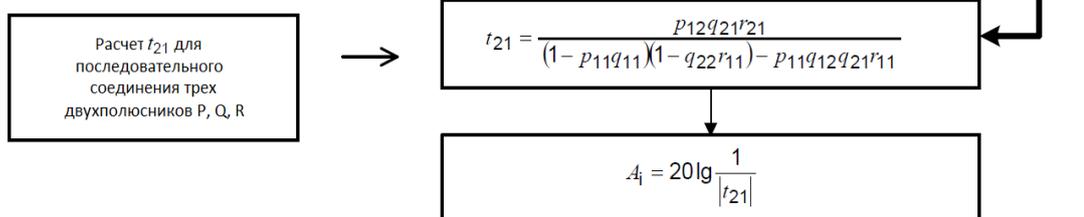
Эквивалентный двухполосник для симметрирующих устройств



Эквивалентный двухполосник для площадки



Объединение результатов расчетов



IEC

Рисунок С.5 – Блок-схема для расчета вносимых потерь площадки SIL на основе результатов измерений S-параметров симметрирующих устройств и рассчитанных с помощью NEC S-параметров площадки, представленной в виде двухполосника

С.2.4.1.2 Этап а) – Расчет S-параметров площадки, представленной в виде двухполюсника

В программе, реализующей метод моментов МоМ, задайте две измерительных антенны с горизонтальной или вертикальной поляризацией, размещенных над идеальной открытой испытательной площадкой OATS или в свободном пространстве на высотах h_1 и h_2 и расстоянии между ними d . Выполните два запуска МоМ-программы. При первом запуске подайте СВЧ напряжение $U_1 = 1$ В на порт 1 и нагрузите порт 2 полным сопротивлением $Z_{02} = 100$ Ом. С помощью программы рассчитайте комплексное значение полного входного сопротивления порта 1, Z_{in1} , и комплексную амплитуду тока, проходящего через нагрузку порта 2, I_{L2} . При втором запуске, сохраняя неизменной геометрию антенны, подайте СВЧ напряжение $U_2 = 1$ В на порт 2 и нагрузите порт 1 полным сопротивлением $Z_{01} = 100$ Ом. С помощью программы рассчитайте комплексное значение полного входного сопротивления порта 2 Z_{in2} и комплексную амплитуду тока, проходящего через нагрузку порте 1, I_{L1} .

S-параметры площадки-двухполюсника (Q на рисунке С.4), нормированные к Z_{01} на порте 1 и к Z_{02} на порте 2, рассчитываются как:

$$Q = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{pmatrix} \quad (\text{C. 25})$$

где

$$q_{11} = \frac{Z_{in1} - Z_{01}}{Z_{in1} + Z_{01}} \quad (\text{C. 26})$$

$$q_{21} = Z_{02} I_{L2} (1 + q_{11}) \quad (\text{C. 27})$$

$$q_{22} = \frac{Z_{in2} - Z_{02}}{Z_{in2} + Z_{02}} \quad (\text{C. 28})$$

$$q_{12} = Z_{01} I_{L1} (1 + q_{22}) \quad (\text{C. 29})$$

на основе взаимности $Z_{01} q_{21} = Z_{02} q_{12}$.

С.2.4.1.3 Этап б) – Измерения S-параметров двух трехпортовых симметрирующих устройств

Измерьте девять комплексных значений S-параметров трехпортовых симметрирующих устройств (P и R на рисунке С.4) с использованием векторного анализатора цепей.

Примечание – Другое описание шагов б)-д) приведено в В.3.

Пусть матрица рассеяния одного из трех портов симметрирующего устройства определяется M, как в уравнении (С.30).

$$M = \begin{pmatrix} m_{\alpha\alpha} & m_{\alpha\beta} & m_{\alpha\gamma} \\ m_{\beta\alpha} & m_{\beta\beta} & m_{\beta\gamma} \\ m_{\gamma\alpha} & m_{\gamma\beta} & m_{\gamma\gamma} \end{pmatrix} \quad (\text{С. 30})$$

где порт α является несимметричным портом симметрирующего устройства (к которому подсоединен кабель от генератора или к измерительному приемнику), а порты β и γ вместе составляют симметричный порт симметрирующего устройства (соединяет две половины антенного элемента) (см. рисунок С.5). Матрица рассеяния M нормирована к 50 Ом на всех трех портах.

С.2.4.1.4 Этап с) – Определение S-параметров двухпортового симметрирующего устройства

Предполагая, что проводные элементы портов симметрирующего устройства идеально согласованы по модулю и отличаются по фазе ровно на 180° , девять S-параметров трехпортового симметрирующего устройства в С.2.4.1.3 сводятся к четырем S-параметрам эквивалентного двухполюсника. Сокращенная матрица рассеяния двухпортового симметрирующего устройства N определяется уравнением (С.31).

$$N = \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{pmatrix} \quad (\text{С. 31})$$

где

$$n_{11} = \frac{m_{\beta\beta} + m_{\gamma\gamma} - m_{\beta\gamma} - m_{\gamma\beta}}{2} \quad (\text{С. 32})$$

$$n_{12} = m_{\beta\alpha} - m_{\gamma\alpha} \quad (\text{С. 33})$$

$$n_{21} = \frac{m_{\alpha\beta} - m_{\alpha\gamma}}{2} \quad (\text{С. 34})$$

$$n_{22} = m_{\alpha\alpha} \quad (\text{С. 35})$$

где порт 1 – это симметричный порт симметрирующего устройства (включающий порты β и γ), а порт 2 – это несимметричный порт симметрирующего устройства. Матрица рассеяния N нормирована к 100 Ом в порте 1 и к 50 Ом в порте 2.

С.2.4.1.5 Этап d) – Расчет S-параметров последовательного соединения симметрирующих устройств и площадки, представленной двухполюсником

Последовательное соединение двух симметрирующих устройств и двухполюсника представлено на рисунке С.4. Для симметрирующих устройств симметричный порт обозначен как порт 1, а несимметричный порт - как порт 2. S-параметры площадки, представленной в виде двухполюсника, определенные в С.2.4.1.2, задаются как:

$$Q = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{pmatrix} \quad (\text{С. 36})$$

S-параметры симметрирующих устройств, определенные в С.2.4.1.3 и С.2.4.1.4, задаются как:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{pmatrix} \quad (\text{С. 37})$$

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{pmatrix} \quad (\text{С. 38})$$

Наконец, S-параметры каскадной комбинации симметрирующего устройства 1, двухполюсника, и симметрирующего устройства 2 являются:

$$T = \begin{pmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{pmatrix} \quad (\text{С. 39})$$

где коэффициент передачи t_{21} определяется как:

$$t_{21} = \frac{p_{12}q_{21}r_{21}}{(1 - p_{11}q_{11})(1 - q_{22}r_{11}) - p_{11}q_{12}q_{21}r_{11}} \quad (\text{С. 40})$$

С.2.4.1.6 Этап e) – Расчет вносимых потерь площадки SIL

Если генератор сигналов и измерительный приемник имеют согласованное сопротивление 50 Ом, вносимые потери SIL определяются выражением:

$$A_{ic} = 20 \lg \left(\left| \frac{1}{t_{21}} \right| \right) = 20 \lg \left(\left| \frac{(1 - p_{11}q_{11})(1 - q_{22}r_{11}) - p_{11}q_{12}q_{21}r_{11}}{p_{12}q_{21}r_{21}} \right| \right) \quad (C.41)$$

С.2.4.1.7 Пример расчета вносимых потерь площадки SIL

Примеры расчета вносимых потерь SIL приведены в таблице С.5. Используются те же длины и радиусы антенн, L_a и R_{we} , что и в таблице С.1. Используемые номиналы высот антенн указаны в таблице 7. Если используются разные радиусы диполей, оператор должен рассчитать резонансные длины в свободном пространстве и новые значения A_{ic} . Расстояние между антеннами составляет 10 м, а высота центра передающей антенны 2 м, за исключением частот 30; 35; 40 МГц, где высота составляет 2,75 м. Это значение обусловлено необходимостью уменьшить количество изменений высоты. В то же время, этот номинал высоты близок к значению, при котором уровень сигнала будет максимальным. Значения A_{ic} в таблицах С.2 и С.5 могут быть рассчитаны с использованием методов, указанных в С.1.

Т а б л и ц а С.5 – Пример расчета A_{ic} методом моментов МоМ для вертикальной поляризации, $h_t = 2$ м, за исключением $h_t = 2,75$ м при 30; 35; 40 МГц

f МГц	h_r м	A_{ic} дБ	f МГц	h_r м	A_{ic} дБ	f МГц	h_r м	A_{ic} дБ
30	2,75	16,48	90	1,15	23,30	300	2,6	33,38
35	2,4	16,97	100	1,0	24,33	400	1,8	35,68
40	2,4	17,83	120	1,0	25,81	500	1,4	37,61
45	1,9	18,66	140	1,0	27,27	600	1,4	39,14
50	1,9	18,90	160	1,0	28,97	700	1,0	40,37
60	1,5	20,14	180	1,0	30,76	800	1,0	41,24
70	1,5	21,05	200	1,0	32,46	900	1,6	43,21
80	1,15	22,28	250	3,1	32,20	1000	1,6	43,48

h_r это высота приемной антенны

С.2.4.1.8 Вносимые потери SIL при согласовании симметрирующих устройств

Если оба симметрирующих устройства согласованы (т.е. $p_{11} = p_{22} = r_{11} = r_{22} = 0$), выражение для вносимых потерь SIL сводится к:

$$A_{ic} = 20 \lg \left(\left| \frac{1}{S_{21}} \right| \right) + 20 \lg \left(\left| \frac{1}{q_{21}} \right| \right) \quad (C.42)$$

где $S_{21} = p_{12} r_{21}$ – коэффициент передачи двух симметрирующих устройств, соединенных друг с другом, а q_{21} – коэффициент передачи площадки, представленной двухполюсником.

С.2.4.1.9 Пример входных файлов NEC, используемых при вычислении вносимых потерь SIL для диполей

Две строки GW (т.е. геометрия провода) описывают пару проводов длиной 0,791 м и радиусом 1,5 мм (что соответствует резонансу L_a на частоте 180 МГц), каждый из которых разделен на 31 сегмент. Два провода имеют горизонтальную поляризацию и размещены над пластиной заземления в плоскости XY на высоте 2 м и расстоянии 10 м.

Примечание – В следующих строках кода намеренно используются точки, а не запятые, поскольку код NEC рассматривает запятые как разделители. Также использование одного или нескольких пробелов между числами не имеет значения.

а) Входной файл для первого запуска NEC, диполи поляризованы горизонтально

```
GW 1 31 0 0 2 0.791 0 2 0.0015
GW 2 31 0 10 2 0.791 10 2 0.0015
GE 1
FR 0 231 0 0 90 1
EX 0 1 16 00 1.0 0.0
LD 0 2 16 16 100 0 0
GN 1
PT 0 2 16 16
XQ 0
EN
```

б) Входной файл для второго запуска NEC, диполи поляризованы горизонтально

```
GW 1 31 0 0 2 0.791 0 2 0.0015
GW 2 31 0 10 2 0.791 10 2 0.0015
GE 1
FR 0 231 0 0 90 1
```

EX 0 2 16 00 1.0 0.0

LD 0 1 16 16 100 0 0

GN 1

PT 0 1 16 16

XQ 0

EN

с) Входные файлы для первого и второго запусков NEC, диполи поляризованы вертикально

Необходимо заменить строки GW в предыдущих двух входных файлах при горизонтальной поляризации на:

GW 1 31 0 0 1.3545 0 0 2.1455 0.0015

GW 2 31 0 10 1.3545 0 10 2.1455 0.0015

d) Входные файлы для первого и второго запусков NEC, диполи в свободном пространстве

В любом из входных файлов при горизонтальной или вертикальной поляризациях измените GE 1 на GE 0 и опустите строку GN 1.

C.2.4.2 Вносимые потери SIL для штыревых антенн

C.2.4.2.1 Этапы вычисления вносимых потерь SIL для пары идентичных штыревых антенн

В программе, реализующей метод моментов MoM, задайте два идентичных штыревых элемента над идеальной открытой испытательной площадкой OATS. Смотрите пример входного файла NEC в конце C.2.4.2.2 для элементов длиной 1 м и радиусом 5 мм, расположенных на расстоянии 15 м друг от друга. Запустите MoM-алгоритм, подав СВЧ напряжение $U_1 = 1$ В на порт 1 и нагрузив порт 2 полным сопротивлением $Z_{02} = 50$ Ом. Рассчитайте комплексное значение полного входного сопротивления порта 1, Z_{in1} , и комплексную амплитуду тока, проходящего через нагрузку порта 2, I_{L2} . Вносимые потери площадки SIL определяются выражением (C.43).

$$A_{ic} = 20 \lg \left(\left| \frac{Z_{02} + Z_{in1}}{2Z_{in1}} \frac{1}{Z_{02} I_{L2}} \right| \right) \quad (\text{С. 43})$$

Примечание – Генератор и приемник согласованы с $Z_{02} = 50$ Ом.

С.2.4.2.2 Пример входного файла NEC, используемого при вычислении вносимых потерь SIL для штыревых антенн

Входной файл NEC для вносимых потерь SIL штыревой антенны

GW 1 12 0 0 0 0 0 1 0.005

GM 1 1 0 0 0 0 15 0

GE 1

GN 1

FR 0 96 0 0 5 1 0 0

EX 0 1 1 1 1 0

LD 4 2 1 1 50 0

PT 0 2 1 1

XQ

EN

С.2.5 Расчеты коэффициента калибровки антенны (AF)

С.2.5.1 Коэффициент калибровки дипольных антенн

С.2.5.1.1 Этапы расчета коэффициента калибровки дипольных антенн

Для расчета коэффициента калибровки измерительной антенны с помощью МоМ-кода, например NEC [22] в свободном пространстве, либо с горизонтальной или вертикальной поляризацией на высоте h для идеальной открытой площадки (OATS), необходимо последовательно выполнить следующие этапы [12], [23]; более подробная информация приведена в подпунктах, указанных в скобках [].

а) [С.2.5.1.2] Рассчитайте эффективную длину (l_{eff}) и полное входное сопротивление (Z_A) антенного элемента, используя МоМ-код.

б) [С.2.5.1.3] Измерьте векторным анализатором цепей девять комплексных S-параметров трехпортового симметрирующего устройства.

в) [С.2.5.1.3] Уменьшите девять S-параметров трехпортового симметрирующего устройства до четырех S-параметров эквивалентного

двухполюсника (с одним симметричным и одним несимметричным портами).

d) [С.2.5.1.4] Рассчитайте коэффициент калибровки измерительной антенны, используя результаты расчета эффективной длины и входного сопротивления антенного элемента и результаты измерений S-параметров симметрирующего устройства.

Измерительная антенна состоит из дипольных антенных элементов и симметрирующего устройства. На резонансной частоте антенны f_{res} расчет наиболее точен [22], но лучше, чем $\pm 0,3$ дБ на границах диапазона рабочих частот полосы, по крайней мере, для полосы $[(f_{res} \pm f_{res}/2)]$.

С.2.5.1.2 Этап а) – Расчет эффективной длины и полного входного сопротивления

Рассчитайте эффективную длину и полное входное сопротивление антенного элемента, используя метод моментов МоМ. В программе, реализующей метод моментов МоМ, задайте пару идентичных одинаково поляризованных дипольных антенных элементов (проводов) необходимой длины l и радиуса a , размещенных на расстоянии d с соблюдением условия дальней зоны, либо в свободном пространстве, либо на высоте h над открытой площадкой (OATS). Обе антенны расположите на одинаковой высоте. Подайте напряжение U_S на центральные зажимы передающего диполя, нагрузив при этом центральные зажимы приемного диполя сопротивлением Z_L .

Выполните два запуска программы МоМ; см. С.2.5.1.7 для примера входных файлов NEC. При первом запуске рассчитайте напряженность электрического поля, $|E|$, в точке размещения приемной антенны, но при условии, что приемной антенны в этой точке нет. При втором запуске, установив в эту точку пространства приемную антенну, рассчитайте комплексное входное сопротивление передающей антенны Z_A и комплексную амплитуду тока в нагрузке $|I_L|$, подключенной к центральным зажимам приемной антенны. Рассчитайте значение комплексной эффективной длины $|l_{eff}|$ антенного элемента, используя уравнение (С.44).

$$|l_{eff}| = \frac{|(Z_A + Z_L)||I_L|}{|E|} \quad (\text{С. 44})$$

С.2.5.1.3 Этапы b) и c) – Измерение S-параметров трехпортового симметрирующего устройства и определение S-параметров двухпортового симметрирующего устройства

Следуйте процедурам С.2.4.1.3 и С.2.4.1.4.

С.2.5.1.4 Этап d) – Вычисление коэффициента калибровки антенны

Рассчитайте коэффициент калибровки измерительной антенны, используя результаты расчета эффективной длины и входного сопротивления антенного элемента и результаты измерений S-параметров симметрирующего устройства.

Коэффициент калибровки измерительной антенны, F_a , дБ, задается уравнением (С.45), в котором Γ и n [см. Уравнение (С.31)] являются комплексными числами.

$$F_a = 20 \lg \left| \frac{2[(1 - \Gamma_A n_{11})(1 - \Gamma_R n_{22}) - \Gamma_A \Gamma_R n_{12} n_{21}]}{n_{21}(1 + \Gamma_R)(1 - \Gamma_A) l_{eff}} \right| \quad (\text{С. 45})$$

Коэффициент отражения по напряжению антенного элемента, Γ_A , определяется формулой:

$$\Gamma_A = \frac{Z_A - 100}{Z_A + 100} \quad (\text{С. 46})$$

а коэффициент отражения по напряжению измерительного приемника Γ_R формулой:

$$\Gamma_R = \frac{Z_R - 50}{Z_R + 50} \quad (\text{С. 47})$$

где Z_A и Z_R - комплексное входное сопротивление антенного элемента и измерительного приемника, соответственно.

С.2.5.1.5 Коэффициент калибровки антенны для согласованных симметрирующего устройства и приемника

Допустив, что симметрирующее устройство идеально согласовано ($n_{11} = n_{22} = 0$) и для согласованного приемника ($\Gamma_R = 0$), уравнение (С.45) для коэффициента калибровки антенны сводится к:

$$F_a = 20 \lg \left| \frac{1}{n_{21}} \right| + F_{a \text{ element}} \quad (\text{С. 48})$$

где $F_{a\ element}$ – коэффициент калибровки антенного элемента при нагрузке 100 Ом, рассчитываемый по формуле:

$$F_{a\ element} = 20\lg \left| \frac{2}{(1 - \Gamma_A)l_{eff}} \right| = 20\lg \left| \frac{Z_A + 100}{100l_{eff}} \right| \quad (C.49)$$

Нагрузка 100 Ом указана в строке “LD” во “Входном файле для AF диполя. Второй запуск NEC, HP” в С.2.5.1.7.

С.2.5.1.6 Расчет коэффициента калибровки антенны по результатам измерений S_{21} двух соединенных вместе симметрирующих устройств

Допустив, что симметрирующее устройство согласовано ($n_{11} = n_{22} = 0$) и для согласованного приемника ($\Gamma_R = 0$), имеем:

$$F_a = F_{a\ element} + 3 + \frac{A_{balun\ pair}}{2}, \text{ дБ} \quad (C.50)$$

где:

$$A_{balun\ pair} = 20\lg \left| \frac{1}{S_{21}} \right| \quad (C.51)$$

представляет собой ослабление пары симметрирующих устройств (предположительно идентичных), соединенных друг с другом, а $S_{21} = n_{21}n_{12}$ – это коэффициент передачи между двумя несимметричными портами пары симметрирующих устройств, измеренный векторным анализатором цепей. Любые отличия между симметрирующими устройствами должны учитываться как неопределенность измерений, которая может быть оценена методом трех симметрирующих устройств, аналогичным методу трех антенн ТАМ в свободном пространстве, как описано в п. 7.4.1.1 CISPR 16-1-6:2014.

С.2.5.1.7 Пример входных файлов NEC, используемых при вычислении коэффициента калибровки дипольных антенн

Примечание – В следующих строках кода намеренно используются точки, а не запятые, поскольку код NEC рассматривает запятые как разделители. Также использование одного или нескольких пробелов между числами не имеет значения.

а) Входной файл для коэффициента калибровки диполя. Первый запуск NEC, горизонтальная поляризация (HP)

Строка GW обозначает один провод длиной 0,791 м и радиусом 1,5 мм (резонанс на частоте 180 МГц), разделенный на 31 сегмент. (0, 0, 2) и (0.791, 0, 2) являются координатами в системе X, Y, Z, указывающими на горизонтально поляризованный провод на высоте 2 м над пластиной заземления. Отметка 1 в строке GN указывает на наличие пластины заземления в плоскости XY при Z = 0.

GW 1 31 0 0 2 0.791 0 2 0.0015

GE 1

FR 0 231 0 0 90 1

EX 0 1 16 00 1.0 0.0

GN 1

NE 0 1 1 1 0.3955 50 2 1 1 1

XQ 0

EN

б) Входной файл для коэффициента калибровки диполя. Второй запуск NEC, горизонтальная поляризация (HP)

GW 1 31 0 0 2 0.791 0 2 0.0015

GW 1 31 0 0 2 0.791 0 2 0.0015

GE 1

FR 0 231 0 0 90 1

EX 0 1 16 00 1.0 0.0

LD 0 2 16 16 100 0 0

GN 1

PT 0 2 16 16

XQ 0

EN

с) Входной файл для коэффициента калибровки диполя. Первый запуск NEC, вертикальная поляризация (VP)

Во «Входном файле для первого запуска NEC, горизонтальная поляризация (HP)» замените строку GW на

GW 1 31 0 0 1.3545 0 0 2.1455 0.0015

Замените строку NE на

NE 0 1 1 1 0 50 1.75 1 1 1

д) Входной файл для коэффициента калибровки диполя. Второй запуск NEC, вертикальная поляризация (VP)

Во «Входном файле для второго запуска NEC, горизонтальная поляризация (HP)» замените строки GW на

GW 1 31 0 0 1.3545 0 0 2.1455 0.0015

GW 2 31 0 50 1.3545 0 50 2.1455 0.0015

е) Входные файлы для коэффициента калибровки диполя в свободном пространстве при первом и втором запуске NEC

Вместо установки диполя на большой высоте над пластиной заземления, задайте условия в NEC таким образом, чтобы пластиной заземления можно было пренебречь. Для любого из наборов горизонтальной или вертикальной поляризации первого и второго файлов измените GE 1 на GE 0 и опустите строку GN 1.

С.2.5.2 Коэффициент калибровки штыревой антенны

С.2.5.2.1 Расчет коэффициента калибровки штыревой антенны

Допустив, что приемник согласован, коэффициент калибровки штыревой антенны можно рассчитать следующим образом: выполните два запуска кода NEC МоМ. Расстояние между антеннами должно составлять минимум $3,33\lambda$, чтобы эффекты от взаимного влияния антенн в ближней зоне были незначительными. При первом запуске отдельная штыревая антенна формирует электромагнитное поле, распространяющееся над идеальной открытой площадкой OATS. Напряженность формируемого электрического поля (E) определяется на поверхности пластины заземления на расстоянии 200 м от излучающей штыревой антенны. При втором запуске вторую штыревую антенну, нагруженную на сопротивление 50 Ом, устанавливают в точку, где ранее была определена напряженность электрического поля, и определяют силу тока, протекающего через нагрузку (I_L). См. пример входных файлов NEC для штыревой антенны в С.2.5.2.2 для элемента длиной 1 м и радиусом 5 мм.

Коэффициент калибровки второй штыревой антенны вычисляют, исходя из величины напряженности электрического поля E и тока нагрузки I_L :

$$F_a = 20 \lg \left| \frac{E}{I_L \times 50} \right| \quad (\text{C.52})$$

Физически реализованная штыревая антенна будет отличаться от этой модели из-за соединителя N-типа (см. 4.10.1). Для лучшего приближения к свойствам реальной антенны длину модели можно отрегулировать путем измерения вносимых потерь площадки SIL в полосе частот, достаточной для определения резонансной частоты, которая составляет около 75 МГц для антенного элемента длиной 1 м. Изменяя длину модели до тех пор, нужно добиться совпадения с измеренной резонансной частотой, что, в свою очередь, позволит получить более точное значение F_a (STA), как описано в G.1.1 CISPR 16-1-6.

Примечание – Этот коэффициент калибровки F_a используется для STA в G.1 CISPR 16-1-6:2014.

$$F_{a \text{ element}} = 20 \lg \left| \frac{2}{(1 - \Gamma_A) l_{eff}} \right| = 20 \lg \left| \frac{Z_A + 50}{50 l_{eff}} \right| \quad (\text{C.53})$$

где

$$\Gamma_A = \frac{Z_A - 50}{Z_A + 50} \quad (\text{C.54})$$

С.2.5.2.2 Пример входных файлов NEC, используемых при вычислении коэффициента калибровки штыревых антенн

Примечание – В следующих строках кода намеренно используются точки, а не запятые, поскольку код NEC рассматривает запятые как разделители. Также использование одного или нескольких пробелов между числами не имеет значения.

а) Входной файл для коэффициента калибровки штыревой антенны. Первый запуск NEC, горизонтальная поляризация (HP)

GW 1 12 0 0 0 0 1 0.005

GE 1

GN 1

FR 0 96 0 0 5 1 0 0

EX 0 1 1 1 1 0

NE 0 1 1 1 0 200 0 0 0 0

XQ

EN

b) Входной файл для коэффициента калибровки штыревой антенны. Второй запуск NEC

GW 1 12 0 0 0 0 0 1 0.005

GM 1 1 0 0 0 0 200 0

GE 1

GN 1

FR 0 96 0 0 5 1 0 0

EX 0 1 1 1 1 0

LD 4 2 1 1 50 0

PT 0 2 1 1

XQ

EN

Приложение D

(Справочное)

Программа на языке Pascal, используемая в С.1.4

Цель этого приложения – облегчить выполнение необходимых расчетов. Следующая программа на языке Pascal (Turbo Pascal 7.0) использовалась для получения результатов, приведенных в С.1.4. Оптимизация программы не проводилась. Программное обеспечение Pascal было написано на С++, этот текст и его исполняемый файл (CALTS_DIPOLE.exe) можно свободно загрузить с сайта [24].

Программа CALTS_DIPOLE запрашивает частоту в МГц и радиус диполя в мм (это позволяет вычислить резонансную длину диполя независимо от следующих параметров); высота расположения передающей и приемной антенн и расстояния между ними по горизонтали; идеальное отражение от пластины заземления (да/нет - Y/N). Если выбрано N (неидеальное отражение), то запрашивается коэффициент отражения и фаза отражения от бесконечной пластины заземления. Если выбрано Y, коэффициент отражения принимается равным 1 и фаза, равной 180° (т.е. идеальное отражение при горизонтальной поляризации). Далее программа переходит к выбору полного сопротивления антенны (идеальное/неидеальное) Y/N. Если выбрано N, программа запрашивает характеристики передающей части R-AB и X-AB [действительная и мнимая части полного сопротивления Z_{AB} в уравнении (С.11) и на рисунке С.2]; и характеристики приемной части R-CD и X-CD [действительная и мнимая части полного сопротивления Z_{CD} в уравнении (С.11)]. Если выбрано Y, то программа отображает реальное значение $Z_{AB} = Z_{CD} = 100 \text{ Ом}$ (т.е. полное сопротивление дипольной антенны, подключенной к симметрирующему устройству). Наконец, на выходе отображаются частота, резонансная длина L_a в м и SIL в дБ.

Математические операции в программе точно соответствуют уравнениям, приведенным в С.1.3, что облегчает выполнение проверки. Часть «комментарии» {*comment*} в конце PROCEDURE содержит перекрестные ссылки на соответствующее уравнение (уравнения). «Фактическая программа» после {*Calculations*} состоит только из двух строк, в которых вычисляются L_A и A . Этой части предшествует часть «входные данные» {*Input Data*}, а за ней следует часть «выходные данные» {*Output Data*}. Последние две части могут быть легко адаптированы к фактическим расчетам, которые необходимо выполнить в конкретном случае.

```
PROGRAM analytical_calculation_SIL_OATS;  
USES crt,dos;  
LABEL impedance, calculate;  
VAR f,f0,laf,la0,wr,ht,hr,d,rab,xab,rcd,xcd,saf,arc,fir: real;  
yn                               : char;
```

```
PROCEDURE cprod(r1,i1,r2,i2:real; var rz,iz:real);  
begin  
rz:= r1*r2-i1*i2; iz:= i1*r2+r1*i2;  
end; {cprod, complex product}
```

```
PROCEDURE fsc(x:real; var fx: real);  
var a1,a2,b1,b2,nom,denom:real;  
begin  
a1:= 7.241163; a2:= 2.463936;  
b1:= 9.068580; b2:= 7.157433;  
nom:= x*x*x*x+a1*x*x+a2;  
denom:= x*x*x*x+b1*x*x+b2;  
fx:= nom/denom/x;  
end; {fsc, Equation (C.11)}
```

```
PROCEDURE gsc(x:real; var gx: real);  
var c1,c2,d1,d2,nom,denom:real;  
begin  
c1:= 7.547478; c2:= 1.564072;  
d1:=12.723684; d2:=15.723606;  
nom:= x*x*x*x+c1*x*x+c2;  
denom:= x*x*x*x+d1*x*x+d2;  
gx:= nom/denom/x/x;  
end; {gsc, Equation (C.11)}
```

```
PROCEDURE Si(x:real; var six:real);  
var fx,gx:real;
```

```

begin
  if  $x \geq 1$  then
    begin
       $fsc(x,fx); gsc(x,gx); six := \text{Pi}/2 - fx \cdot \cos(x) - gx \cdot \sin(x);$ 
    end;
    if  $x < 1$  then
       $six := x - x^2 \cdot x^2 / 18 + x^3 \cdot x^3 \cdot x^3 / 600 - x^4 \cdot x^4 \cdot x^4 \cdot x^4 / 35280;$ 
    end; {Si, Equation (C.7)}

```

```

PROCEDURE Ci( $x$ :real; var  $cix$ :real);
  var  $fx,gx,sum$ : real;
  begin
    if  $x \geq 1$  then
      begin
         $fsc(x,fx); gsc(x,gx); cix := fx \cdot \sin(x) - gx \cdot \cos(x);$ 
      end;
      if  $x < 1$  then
         $cix := 0.577 + \ln(x) - x^2 / 4 + x^3 \cdot x^3 \cdot x^3 / 96 - x^4 \cdot x^4 \cdot x^4 \cdot x^4 / 4320 + x^5 \cdot x^5 \cdot x^5 \cdot x^5 \cdot x^5 / 322560;$ 
      end; {Ci, Equation (C.8)}

```

```

PROCEDURE Ra( $f,laf$ :real; var  $raf$ :real);
  var  $kx0,g,k,x,cix,ci2x,six,si2x,ssi,sci$ :real;
  begin
     $kx0 := 377/2/\text{Pi}; g := 0.577; k := 2 \cdot \text{Pi} \cdot f / 3E8;$ 
     $Si(k \cdot laf, six); Ci(k \cdot laf, cix);$ 
     $Si(2 \cdot k \cdot laf, si2x); Ci(2 \cdot k \cdot laf, ci2x);$ 
     $ssi := si2x - 2 \cdot six; sci := g + \ln(k \cdot laf / 2) + ci2x - 2 \cdot cix;$ 
     $x := k \cdot laf;$ 
     $raf := kx0 \cdot (g + \ln(x) - cix + \sin(x) \cdot ssi / 2 + \cos(x) \cdot sci / 2) / \sin(x/2) / \sin(x/2);$ 
  end; {Ra, free space, Equation (C.18)}

```

```

PROCEDURE Xa( $f,laf,wr$ :real; var  $xaf$ :real);
  var  $kx0,k,x,cix,ci2x,cixa,six,si2x,ssi,sci$ :real;
  begin

```

```
kx0:= 377/4/Pi; k:= 2*Pi*f/3E8;  
Si(k*laf,six ); Ci(k*laf,cix );  
Si(2*k*laf,si2x); Ci(2*k*laf,ci2x);  
Ci(2*k*wr*wr/laf,cixa);  
ssi:= 2*six+cos(k*laf)*(2*six-si2x);  
sci:= sin(k*laf)*(2*cix-ci2x-cixa);  
x:= k*laf/2;  
xaf:= kx0*(ssi-sci)/sin(x)/sin(x);  
end; {Xa, Equation (C.4)}
```

```
PROCEDURE la(f,wr:real; var laf:real);  
label again;  
var del,lat,lao,xat:real;  
begin  
del:= 0.1; lat:= 3E8/f/2; lao:= lat;  
again:  
Xa(f,lat,wr,xat);  
lat:= lat-del*lat;  
if xat>0 then begin lao:= lat; goto again; end;  
lat:= lao+1.1*del*lao;  
Xa(f,lat,wr,xat);  
if abs(xat)>0.00001 then begin del:= del/10; goto again; end;  
laf:= lat;  
end; {la, length antenna (f), Equation (C.3)}
```

```
PROCEDURE Rm(r,f,laf,s1,s2,s3,s4:real; var rmf:real);  
var k,fac,kcr,kc1,kc2,kc3,kc4,ks1,ks2,ks3,ks4,t1,t2,t3:real;  
begin  
k:= 2*Pi*f/3E8; fac:= 377/4/Pi/sin(k*laf/2)/sin(k*laf/2);  
Ci(k*r,kcr);  
Ci(k*s1,kc1); Ci(k*s2,kc2); Ci(k*s3,kc3); Ci(k*s4,kc4);  
Si(k*s1,ks1); Si(k*s2,ks2); Si(k*s3,ks3); Si(k*s4,ks4);  
t1:= 2*(2*kcr-kc3-kc4);  
t2:= cos(k*laf)*(2*kcr+kc1+kc2-2*kc3-2*kc4);
```

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

```
t3:= sin(k*laf)*(ks1-ks2-2*ks3+2*ks4);  
rmf:= fac*(t1+t2+t3);  
end; {R-mutual, Equation (C.19)}
```

```
PROCEDURE Xm(r,f,laf,s1,s2,s3,s4:real; var xmf:real);  
var k,fac,ksr,kc1,kc2,kc3,kc4,ks1,ks2,ks3,ks4,t1,t2,t3:real;  
begin  
k:= 2*Pi*f/3E8; fac:= 377/4/Pi/sin(k*laf/2)/sin(k*laf/2);  
Si(k*r,ksr);  
Si(k*s1,ks1); Si(k*s2,ks2); Si(k*s3,ks3); Si(k*s4,ks4);  
Ci(k*s1,kc1); Ci(k*s2,kc2); Ci(k*s3,kc3); Ci(k*s4,kc4);  
t1:= 2*(2*ksr-ks3-ks4);  
t2:= cos(k*laf)*(2*ksr+ks1+ks2-2*ks3-2*ks4);  
t3:= sin(k*laf)*(kc1-kc2-2*kc3+2*kc4);  
xmf:= -fac*(t1+t2-t3);  
end; {X-mutual, Equation (C.20)}
```

```
PROCEDURE Dist(r,laf:real; var s1,s2,s3,s4:real);  
var sqr1,sqr2:real;  
begin  
sqr1:= sqrt(r*r+laf*laf); sqr2:= sqrt(r*r+laf*laf/4);  
s1:= sqr1+laf; s2:= sqr1-laf;  
s3:= sqr2+laf/2; s4:= sqr2-laf/2;  
end; {Distances, Equation (C.21)}
```

```
PROCEDURE SA(f,f0,d,ht,hr,arc,fir,rab,xab,rcd,xcd:real; var saf:real);  
var r,r11,x11,r12,x12,r13,x13,r14,x14,r22,x22,r24,x24,rrc,irc,  
rd,xd,rna,xna,rnb,xnb,rn,xn,s1,s2,s3,s4,wr0,la0,alpha :real;  
begin  
rrc:= arc*cos(fir); irc:= arc*sin(fir); alpha:= 40;  
wr0:= 1.5E8/f0/sqrt(exp(alpha)); la(f0,wr0,la0);  
Ra(f,la0,r11); Xa(f,la0,wr0,x11); r22:= r11; x22:= x11;  
r:= sqrt(d*d+(ht-hr)*(ht-hr)); Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);  
Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,r12); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,x12);
```

```
r:= 2*ht; Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);
Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,rd); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,xd);
cprod(rrc,irc,rd,xd,r13,x13);
r:= sqrt(d*d+(ht+hr)*(ht+hr)); Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);
Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,rd); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,xd);
cprod(rrc,irc,rd,xd,r14,x14);
r:= 2*hr; Dist(r,la0,s1,s2,s3,s4);
Rm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,rd); Xm(r,f,la0,s1,s2,s3,s4,xd);
cprod(rrc,irc,rd,xd,r24,x24);
cprod(r12+r14,x12+x14,rab+r24,xab+x24,rd,xd);
cprod(rab+r11+r13,xab+x11+x13,r22+r24,x22+x24,rna,xna);
cprod(r12+r14,x12+x14,r12+r14,x12+x14,rnb,xnb);
rn:= rna-rnb; xn:= xna-xnb;
saf:= sqrt((rn*rn+xn*xn)/(rd*rd+xd*xd));
saf:= 20*ln(saf)/ln(10);
end; {SIL, Equation (C.17)}
```

PROCEDURE YesNo(**var** rk: char);

begin

repeat

rk:= readkey; rk:= upcase(rk);

until (rk= 'Y') or (rk= 'N');

writeln(rk);

end; {Yes/No}

BEGIN

{Input Data}

clrscr;

write('Frequency (MHz)= '); read(f); f:= f*1E6;

write('Radius Wire Antenna (mm)= '); read(wr); wr:= wr*1E-3;

write('Height Transmit Antenna (m)= '); read(ht);

write('Height Receive Antenna (m)= '); read(hr);

write('Horizontal Antenna Distance (m)= '); read(d);

write('Ideal Plane Reflection? (Y/N)= '); YesNo(yn); **if** yn='Y' **then**

ГОСТ CISPR 16-1-5—202

(Проект RU, окончательная редакция)

```
begin arc:=1; fir:= Pi; goto impedance; end;
write('Modulus Reflection Coefficient = '); read(arc);
write('Phase Refl. Coef. (Degrees)= '); read(fir); fir:= fir*Pi/180;
impedance:
write('Ideal Antenna Impedance (Y/N)= '); YesNo(yn); if yn='Y' then
begin rab:= 100; xab:= 0; rcd:= 100; xcd:= 0; goto calculate; end;
write('R-AB (transmit) (Ohm)= '); read(rab);
write('X-AB (transmit) (Ohm)= '); read(xab);
write('R-CD (receive) (Ohm)= '); read(rcd);
write('X-CD (receive) (Ohm)= '); read(xcd);
{Calculations}
calculate:
f0:=f
la(f0,wr,laf);
SIL(f,f0,d,ht,hr,arc,fir,rab,xab,rcd,xcd,saf);
{Output Data}
writeln;
writeln('f(MHz)= ',f/1E6:3:0,' La(m)= ',laf:3:3,' Aic(dB)= ',saf:3:3);
writeln;
END.
```

Приложение Е

(Справочное)

Контрольный список (чек-лист) для процедуры оценки соответствия испытательной площадки

a	Основная информация	
a1	Адрес, место установки площадки CALTS	
a2	Адрес, номер телефона/факса, адрес электронной почты владельца CALTS	
a3	Адрес, номер телефона/факса, адрес электронной почты человека/организации, ответственного за отчет о соответствии CALTS	Может быть таким же, как в a2
a4	Адрес, номер телефона/факса, адрес электронной почты человека/организации, которые проводили проверку CALTS	Может быть таким же, как в a2 и/или a3
a5	Подписи людей/организаций, упомянутых в пунктах a2, a3 и a4	
a6	Общее описание конфигурации CALTS и вспомогательного оборудования, использованного при оценке соответствия CALTS	Использование фотографий, чертежей и номеров может упростить описание
a7	Дата завершения оценки соответствия CALTS и дата выдачи отчета об оценке соответствия.	
b	Оценка соответствия	
b1	Результаты оценки соответствия	
b2	Определение периодичности оценки соответствия CALTS	
b3	Установка ограничений и конфигурации CALTS, при которых проведена оценка соответствия	
c	Измерительные антенны	
c1	Определение рассчитываемых антенн	Тип, номер
c2	Проверка соответствия	Ссылка на 4.3.2 и

	применимым нормативным требованиям	значения в таблице 2
c3	Определение характеристического полного сопротивления	См. 4.3.2 g)
d	Размещение оборудования	
d1	Подробное описание схемы размещения средств измерений, вспомогательного оборудования	
d2	Проверка соответствия применимым нормативным требованиям	Ссылка на 4.4.2 и значения в таблице 2
e	Результаты измерений	
e1	Если применимо, привести обоснование отклонения от заданных частот	См. 4.4.3.3
e2	Результаты измерения SIL в соответствии с пунктом 4.4.4 и таблицей 3 и определение неопределенности измерений SIL	См. пункты 4.4.3.1 и 4.4.4
e3	Результаты измерений при сканировании антенной по высоте, либо по частоте, а также неопределенность результатов измерений	См. A.4
f	Результаты расчета SIL и допустимые отклонения	См. 4.5.2
f1	Описание методов расчета, используемых для SIL, и критерия по высоте или по частоте для максимального значения SIL	Ссылка: Приложение С, аналитические или MoM процедуры
f2	Определение расчетного значения SIL и критерия по высоте или по частоте	
f3	Определение суммарной неопределенности измерений, используя значения по умолчанию или рассчитанные значения при отклонениях, указанных в таблице 2	Формулы (4) и (A.2) или (A.4)
g	Результаты расчета критерия соответствия	См. 4.5.3; также A.4.2.3, A.4.3.3
g1	Определение абсолютных	

	значений рассчитанных и измеренных значений SIL и либо высоты антенны, либо частоты	
g2	Определение разницы между допустимым отклонением и неопределённостью измерения SIL и высоты антенны, либо частоты	
g3	Проверка соответствия требованиям, по формуле (5) и формуле (A.1) и/или (A.3)	
h	Выводы о соответствии	
h1	Вывод о результатах измерений и расчетов; заключение о соответствии с учетом срока действия и заявленных ограничивающих условий и схемы размещения оборудования	Ссылка b

Приложение F

(Справочное)

Доказательство того, что вариации поля на вертикальной поляризации для метода оценки соответствия площадки оказывает незначительное влияние на результаты измерений коэффициента калибровки антенны

F.1 Исследование вариаций вертикально поляризованного поля

Однородность поля в вертикальной плоскости измерялась в соответствии с п. 4.9, с использованием небольшой биконической антенны, оснащенной коническими элементами общей длиной (размахом диполей) 0,39 м. Измерения SIL выполнялись с помощью небольшой биконической антенны на высотах от 1 м до 2,6 м с шагом 0,2 м. Результаты были нормализованы по значениям к высоте 1,8 м. Расстояние между коническим монополем и калибруемой антенной составляло 15 метров. Изменение уровня поля по сравнению с уровнем на высоте 1,8 м показано на рисунке F.1. Наибольшее отклонение находится в пределах $\pm 0,5$ дБ, при этом три узкополосных скачка чуть превышают ± 1 дБ. Таким образом, критерий соответствия в $\pm 1,5$ дБ удовлетворен.

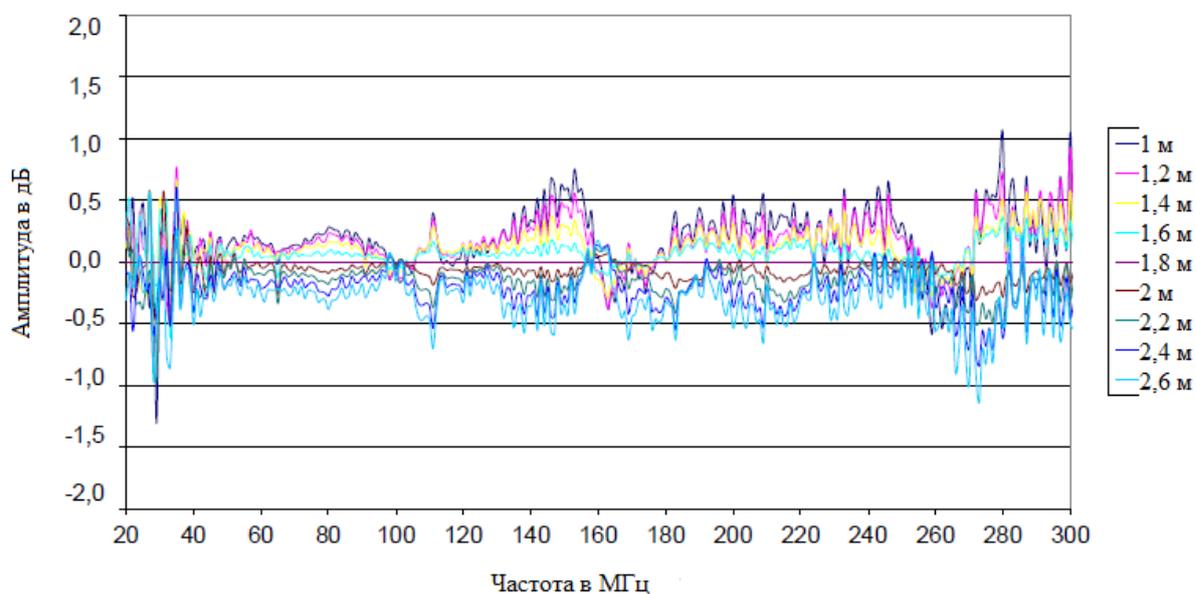


Рисунок F.1 - Однородность поля в диапазоне высот от 1 м до 2,6 м, нормализованная к полю на высоте 1,8 м; конический монополь при измерительном расстоянии 15 м

F.2 Калибровка биконических антенн на вертикальной поляризации

Биконическая антенна была откалибрована в соответствии с пунктом 9.3 CISPR 16-1-6:2014 над пластиной заземления размером 60 на 30 м с использованием рассчитываемого диполя в качестве эталона. Центр излучения на вертикальной поляризации калибруемой антенны находился на высоте 1,75 м над пластиной заземления. Кабель укладывался горизонтально за калибруемой антенной более чем на 5 м, прежде чем вертикально опуститься на пластину заземления. Калибровка повторялась на расстояниях 10 м, 12,5 м и 15 м между калибруемой и коническим моноподем. Чем короче расстояние, тем больше были вариации поля в вертикальной плоскости; тем не менее, при расстоянии 10 м были получены приемлемые результаты на пластине заземления больших размеров.

Коэффициент калибровки антенны, полученный по методу 9.3 CISPR 16-1-6:2014, был подтвержден с использованием другого метода В.4.2 CISPR 16-1-6:2014, в соответствии с которым измерения коэффициента калибровки антенны с горизонтальной поляризацией выполняются на нескольких высотах над пластиной заземления с их последующим усреднением для получения F_a . Разница между измеренными значениями не превышает 0,2 дБ (для большинства результатов), как показано на рисунке F.2, на котором Tx и Rx обозначают передающую и приемную антенны.

ГОСТ CISPR 16-1-5—202
(Проект RU, окончательная редакция)

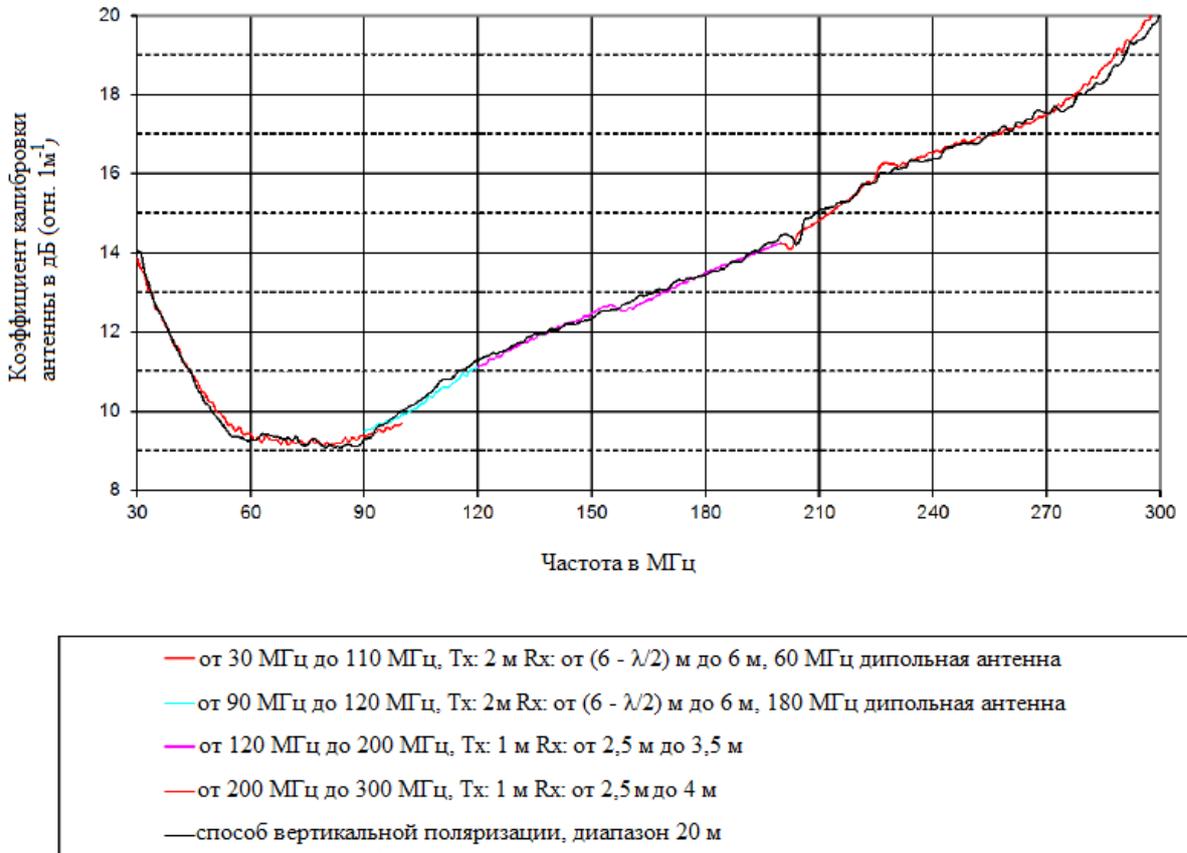


Рисунок F.2 – Усредненное значение по высоте, SAM, В.4.2 в CISPR 16-1-6:2014

Приложение ДА

(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА

Обозначение ссылочного международного стандарта, документа	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
CISPR 16-1-4:2010	IDT	ГОСТ CISPR 16-1-4-2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров промышленных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-4. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Антенны и испытательные площадки для измерения излучаемых помех
CISPR 16-1-6:2014	IDT	ГОСТ CISPR 16-1-6-202x Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерений параметров промышленных радиопомех и помехоустойчивости и методы испытаний. Часть 1-6. Методы измерений коэффициента калибровки антенн для испытаний на электромагнитную совместимость
IEC 60050 (all parts)	IDT	ГОСТ IEC 60050 (все части) Международный электротехнический словарь

Примечание – В настоящей таблице использовано следующее обозначение степени соответствия стандартов:
IDT – идентичные стандарты.

Библиография

- [1] CISPR 16-1-1:2010 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus
CISPR 16-1-1:2010/AMD 1:2010
- [2] CISPR 16-2-3:2010 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements
CISPR 16-2-3:2010/AMD 1:2010
- [3] CISPR 16-4 (all parts) Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods
- [4] APPEL-HANSEN, J., Reflectivity level of radio anechoic chambers, IEEE Transactions on Antenna Propagation, vol. AP-21, no.4, July 1973, p. 490-498
- [5] JI, Y., ARTHUR, D. C., and WARNER, F. M., Measurement of above 1 GHz EMC antennas in a fully anechoic room, CPEM Digest, June 2008, p. 252-253
- [6] ANSI C63.7-2005 American National Standard Guide for Construction of Open-Area Test Sites for Performing Radiated Emission Measurements
- [7] HOLLIS, J.S., LYON, T.J., and CLAYTON, L. (Editors), Microwave Antenna Measurements, Scientific Atlanta Inc., Atlanta, GA, U.S.A., 1986
- [8] SANDER, K.F., and REED, G.A.L., Transmission and Propagation of Electromagnetic Waves, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1987
- [9] LIVSHITS, B., and HARPELL, K., Note to the open field site characterization, IEEE EMC Symposium, Denver, 1992, p. 352-355
- [10] SUGIURA, A., SHIMIZU, Y., and YAMANAKA, Y., Site attenuation for various ground conditions, IEICE Transactions, E73, 9 September 1990, p. 1517-1523
- [11] BERQUIST, A.P., and BENNETT, W.S., Ground-plane size and shape experiments for radiated electromagnetic emission measurements, IEEE EMC Symposium, Denver, U.S.A., 1992, p. 211-217

- [12] SALTER, M.J., and ALEXANDER, M.J., EMC antenna calibration and the design of an open-field site, Measurement Science and Technology (IOP), 2, 1991, p. 510-519
- [13] ANSI C63.5-2006 American National Standard – Electromagnetic Compatibility – Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control – Calibration of Antennas (9 kHz to 40 GHz)
- [14] FITZGERELL, R.G., Standard linear antennas, 30-1000 MHz, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, AP-34, 12, December 1986, p. 1425-1429
- [15] SOMLO, P.I., and HUNTER, J.D., Microwave Impedance Measurement, Peter Peregrinus Ltd., London, UK, 1985
- [16] BROWN, G.H., and KING, R., High-frequency models in antenna investigations, IRE Proceedings, vol. 22, No.4, April 1934, p. 457-480
- [17] BALANIS, C.A., Antenna Theory, Analysis and Design, Harper & Row, New York, 1982, Section 7.3.2 (Other text books on antenna theory may provide an expression for the antenna impedance as well)
- [18] ABRAMOWITZ, M., and STEGUN, I.A., Handbook of Mathematical Functions, Dover Publications Inc, New York, 1972, Section 5.2 (Reprint of original edition published by National Bureau of Standards 1964)
- [19] SUGIURA, A., Formulation of normalized site attenuation in terms of antenna impedances, IEEE Transactions on EMC, EMC-32, 4, 1990, p. 257-263
- [20] NIST Technical Note 1297 Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, 1994 Edition
- [21] ROCKWAY, J.W., LOGAN, J.C., DANIEL, W.S.T., and LI, S.T., The MININEC system: Microcomputer Analysis of Wire Antennas, Artech House, London, 1988
- [22] LOGAN, J.C., and BURKE, A.J., Numerical Electromagnetic Code, 1981, Naval Ocean Systems Center, CA, USA. NEC2 can be purchased or downloaded free from the Internet
- [23] ALEXANDER, M.J., SALTER, M.J., LOADER, B.G., and KNIGHT, D.A., Broadband calculable dipole reference antennas, IEEE Transactions on EMC, vol. 44, no. 1, February 2002, p. 45-58

- [24] CAP2010, Calculable antenna processor, National Physical Laboratory (NPL), software available as freeware from (www.npl.co.uk/software/calculable-antenna-processor). The executable file “CALTS_DIPOLE.exe,” for use as an option for the Annex E calculations, is also available at this site
- [25] MORIOKA, T., and HIRASAWA, K., MoM calculation of the properly defined dipole antenna factor with measured balun characteristics, IEEE Transactions on EMC, vol. EMC-53, no. 1, Feb. 2011, p. 233-236
- [26] HARIMA, K., Calibration of broadband double-ridged guide horn antenna by considering phase center, Proceedings of the 39th European Microwave Conference, Oct. 2009, Roma, Italy, p. 1610-1613
- [27] CASEY, K.F., Electromagnetic shielding behaviour of wire mesh screens, IEEE Transactions on EMC, vol. 30, 1988, p. 298-306
- [28] JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), 3rd edition, 2008 version with minor corrections

УДК 621.396.397.001:006.354

МКС 33.100.10

IDT

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, калибровка антенн, площадка для калибровки антенн, вносимые потери площадки, коэффициент калибровки антенн

Председатель Технического комитета
по стандартизации ТК 30
«Электромагнитная совместимость
технических средств»

Н.И. Файзрахманов

Руководитель разработки
Начальник НИО-10
ФГУП «ВНИИФТРИ»

М.С. Шкуркин