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

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ CISPR 17— 2022

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДАВЛЕНИЯ ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

(CISPR 17:2011, Methods of measurement of the suppression characteristics of passive EMC filtering devices, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Испытания и сертификация бытовой и промышленной продукции «БЕЛЛИС» на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 22 ноября 2022 г. № 156-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узбекское агентство по техническому регулированию

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 августа 2024 г. № 1142-ст межгосударственный стандарт ГОСТ CISPR 17—2022 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 сентября 2025 г. с правом досрочного применения

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту CISPR 17:2011 «Методы измерений характеристик подавления пассивных фильтрующих устройств для обеспечения электромагнитной совместимости (EMC)» («Methods of measurement of the suppression characteristics of passive EMC filtering device», IDT).

Международный стандарт подготовлен подкомитетом А «Измерения радиопомех и статистические методы» Международного специального комитета по радиопомехам (СИСПР).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ 1.5—2001 (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

6 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»

© IEC, 2011
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения и сокращения 2
3.1 Термины и определения 2
3.2 Сокращения 3
4 Классификация фильтрующих электромагнитных устройств 4
4.1 Вносимые потери 5
4.2 Полное сопротивление 6
4.3 *S*-параметры 6
5 Измерение вносимых потерь 8
5.1 Общие положения 8
5.2 Организация измерений 9
5.3 Методы измерений (процедура) 10
5.4 Калибровка и проверка 11
5.5 Неопределенность измерений 14
6 Измерение полного сопротивления 14
6.1 Общие положения 14
6.2 Прямой метод 14
6.3 Косвенный метод 15
7 Измерение *S*-параметров 17
7.1 Схема измерения и процедура 17
7.2 Калибровка схемы испытаний 21
7.3 Неопределенность измерений 22
8 Представление результатов 22
8.1 Общие положения 22
8.2 Вносимые потери 23
8.3 Полное сопротивление 23
8.4 *S*-параметры 23
Приложение А (обязательное) Неопределенность измерений характеристик подавления фильтрующих электромагнитных устройств 24
Приложение В (справочное) Примеры испытательных ящиков для измерения вносимых потерь 28
Приложение С (справочное) Методы измерений вносимых потерь в не 50-омных системах 31
Приложение D (справочное) Реализация буферных цепей при измерении вносимых потерь 33
Приложение Е (справочное) Измерение вносимых потерь. Общие пояснения 35
Приложение F (справочное) Схема измерения полного сопротивления 37
Приложение G (справочное) Измерение *S*-параметров синфазного дросселя 41
Приложение Н (справочное) Схема измерений *S*-параметров ИО без проволочных выводов 45
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 47
Библиография 48

Поправка к ГОСТ CISPR 17—2022 Методы измерения характеристик подавления пассивных фильтрующих устройств для обеспечения электромагнитной совместимости

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан

(ИУС № 10 2025 г.)

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

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДАВЛЕНИЯ ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Methods of measurement of the suppression characteristics of passive filtering devices for protection of electromagnetic compatibility

Дата введения — 2025—09—01
с правом досрочного применения

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на пассивные фильтрующие устройства для обеспечения ЭМС, применяемые в сигнальных и силовых линиях, а также в других цепях, и устанавливает методы измерений характеристик подавления радиопомех.

Описанные методы могут также применяться к комбинации защитных устройств от перенапряжения и фильтрующих электромагнитных устройств.

Методы измерения применяются в полосе частот от 9 кГц до нескольких гигагерц в зависимости от оборудования и схемы испытаний.

Примечание — Описанные в настоящем стандарте методы измерений могут применяться на частотах до 40 ГГц.

Стандарт устанавливает процедуры как для испытательных лабораторий (типовые испытания), так и для испытаний на производстве. Методы измерений применяются как в условиях электрического смещения, так и в условиях без электрического смещения.

Процедуры измерения предусматривают как условия электрического смещения, так и условия без электрического смещения. Методы измерений в условиях электрического смещения, таких как эффекты насыщения в катушках индуктивности с магнитным сердечником, проводят для определения нелинейности поведения фильтрующих электромагнитных устройств. Эти испытания предназначены для определения пригодности устройства в специальной области применения (например, преобразователи частоты, производящие импульсный ток общего вида высокой амплитуды, могут привести катушку индуктивности к насыщению). Допускается не проводить измерения в условиях электрического смещения, если нелинейный характер может быть установлен другими методами (например, при отдельном измерении насыщения катушек индуктивности).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт [для датированной ссылки применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированной — последнее издание (включая все изменения)]:

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

Издание официальное

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

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

3.1.1 **ток смещения** (bias current): Постоянный или переменный ток с частотой (мощностью) сети питания, протекающий по проводникам испытуемого фильтрующего устройства.

3.1.2 **напряжение смещения** (bias voltage): Постоянное напряжение или напряжение переменного тока с частотой (мощностью) питания сети, прикладываемое между определенными частями испытуемого фильтрующего устройства.

3.1.3 **испытуемое оборудование** (device under test): Фильтрующее устройство для обеспечения электромагнитной совместимости, измеряемое, калибруемое и испытываемое в соответствии с настоящим стандартом.

3.1.4 **фильтрующее устройство для обеспечения электромагнитной совместимости** (EMC filtering device): Общий термин в настоящем стандарте, обозначающий различные виды подавляющих схем, состоящих из отдельных компонентов или комплексных схем.

3.1.5 **фильтр** (filter): Устройство, состоящее из отдельных компонентов, таких как катушки индуктивности и конденсаторы, предназначенное для подавления электромагнитных помех.

3.1.6 **полное сопротивление *Z*** (impedance *Z*): Отношение напряжения переменного тока *U* (на частоте *f*) к переменному электрическому току *I*, которое может быть представлено в комплексном виде и выражено как $Z = V/I$, отражающее общее сопротивление протеканию переменного тока; используется в качестве параметра, характеризующего как двухвыводные (катушка индуктивности, конденсаторы и резисторы), так и четырехвыводные (синфазные дроссельные катушки) устройства.

Примечание — Включает в себя омическое *R* и реактивное *X* сопротивления, обычно выражается в комплексном виде как $Z = R + jX$; в полярных координатах выражается как $|Z| \exp(j\theta)$ (абсолютное значение $|Z|$ и фазовый угол θ); может быть рабочей характеристикой фильтрующего электромагнитного устройства; единица измерения *Z* — Ом.

3.1.7 **вносимые потери** (insertion loss): Характеристика фильтра, подключенного к передающей системе, представляющая собой отношение напряжений, появляющихся на линии до и после подключения испытуемого фильтрующего устройства.

Примечание — Вносимые потери измеряются в децибелах.

3.1.8 **полное сопротивление испытательной схемы** (impedances of the test circuit): Полное сопротивление между портами испытательной схемы без подключенного к ней фильтра.

Примечание — Для измерения вносимых потерь, как показано на рисунке 4, полные сопротивления обозначены Z_0, Z_{11}, Z_{12} и Z_2 для сопротивления 50 Ом; в отдельных случаях полные сопротивления могут быть изменены на другие значения, что отражает внешние условия определенного применения.

3.1.9 **приемник** (receiver): Селективный или неселективный прибор, такой как широкополосный вольтметр, настраиваемый вольтметр, спектральный анализатор или приемная часть анализатора цепей.

Примечание — Подробные сведения приведены в 5.2.2.

3.1.10 **опорное полное сопротивление** (reference impedance): Полное сопротивление линии или порта в точке, где измеряются или оцениваются вносимые потери или *S*-параметры, которое указывается в протоколе испытаний.

Примечание — Опорное полное сопротивление обычно составляет 50 Ом.

3.1.11 **опорный потенциал** (reference potential): Потенциал для измерения напряжения, обычно обеспечиваемый металлической пластиной достаточного размера, к которой подключены заземляющие соединения испытательного оборудования и фильтра.

3.1.12 **отдельные компоненты** (single component): Основные компоненты, используемые для обеспечения электромагнитной совместимости, такие как конденсаторы или катушки индуктивности.

3.1.13 ***S*-параметр** (*S*-parameter): Параметр матрицы рассеяния *S*-матрицы элемента S_{ij}, выражающий коэффициенты передачи и отражения устройства.

Примечания

1 Обычно каждый *S*-параметр относится к комплексной напряженности электрического поля (или напряжению) отраженной или передающей волны, присущей падающей волне; индексы типовых *S*-параметров S_{ij} относятся к входным и выходным портам, связанным с *S*-параметрами, которые могут изменяться в зависимости от частоты и применяться в конкретных установках входа и выхода опорных пластин; может представлять из себя характеристику фильтрующего устройства.

Пример — S-параметры для цепи с двумя портами описываются следующим образом:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix},$$

где S_{11} и S_{22} — коэффициенты отражения порта 1 или 2 компонента схемы соответственно при условии, что противоположный порт нагружен на опорное полное сопротивление (например, 50 Ом);

S_{21} и S_{12} — коэффициенты передачи, отображающие коэффициент передачи от входа к выходу и, наоборот, от выхода к входу. Значение S_{21} — хороший показатель подавления шумов для сигнала, проходящего через компонент.

2 Важно оценить ослабление формы сигнала, вызванное колебаниями *S*-параметров в зависимости от частоты.

3.1.14 **схемы испытаний** (test circuits).

3.1.14.1 **асимметричная (синфазный режим) схема испытаний** (asymmetrical (common mode) test circuit): Схема испытаний, в которой все входные линии испытуемого фильтра подключены к генератору сигналов, а выходные линии — к приемнику.

Примечание — Схема испытаний для измерения асимметричных (синфазный режим) вносимых фильтром потерь отражена на рисунке 5.

3.1.14.2 **симметричная (дифференциальный режим) схема испытаний** (symmetrical (differential mode) test circuit): Схема измерения, в которой сигнал подан через пару входных линий испытуемого фильтра, а соответствующая пара выходных линий подключена к приемнику; другие линии не нагружены.

Примечание — Пример схемы испытаний для измерения симметричных (дифференциальный режим) вносимых фильтром потерь отражен на рисунке 6; измеряются все комбинации каждой из двух линий фильтра; заземление или PE (защитное заземление) не рассматривается.

3.1.14.3 **несимметричная схема испытаний** (unsymmetrical test circuit): Схема измерения, в которой сигнал подан на входную линию испытуемого фильтра, а соответствующая выходная линия подключена к приемнику; другие линии входов и выходов нагружены на согласованные полные сопротивления.

Примечание — Пример схемы испытаний для измерения несимметричных вносимых потерь фильтром отражен на рисунке 7; каждая линия фильтра измеряется, все неиспользуемые линии нагружены на опорный потенциал с полным сопротивлением Z_{11} или Z_{12}.

3.2 Сокращения

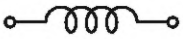
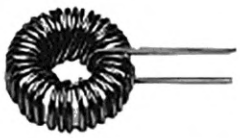
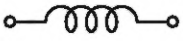
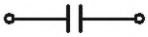
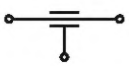
CMCC (СД) — синфазный дроссель;
DUT (ИО — испытуемое оборудование;
EM — электромагнитный;
EMC — электромагнитная совместимость;
e.m.f. (ЭДС) — электродвижущая сила;
GND — земля;
HPF — высокочастотный фильтр;
L — линия;
N — нейтраль;
PE — защитное заземление;
RF — радиочастота;
SMD — технология поверхностного монтажа;
TRL (Thru/Reflect/Line) — сквозной/отраженный/линейный;

VNA — векторный анализатор цепей;
VSWR — коэффициент стоячей волны.

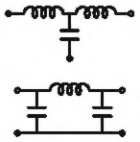
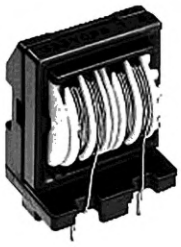
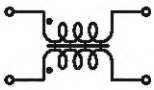
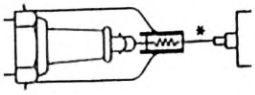
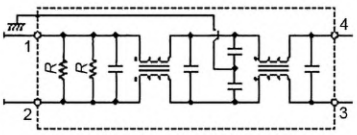
4 Классификация фильтрующих электромагнитных устройств

Примеры фильтрующих электромагнитных устройств и применимые к ним методы измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Примеры фильтрующих электромагнитных устройств

Тип фильтра	Примеры	Обозначение или принципиальная схема	Измеряемые параметры и методы измерений		
	Внешний вид		Вносимые потери	Полное сопротивление	*S*-параметры
Ферритовые сердечники и поглощающие клещи			Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7
Дроссели, катушки индуктивности и диэлектрические шайбы	 		Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7
Непроходные конденсаторы	 		Раздел 5	Раздел 6	Раздел 7
Проходные конденсаторы	 		Раздел 5	—	Раздел 7

Окончание таблицы 1

Тип фильтра	Примеры	Обозначение или принципиальная схема	Измеряемые параметры и методы измерений		
	Внешний вид		Вносимые потери	Полное сопротивление	*S*-параметры
Трехвыводные конденсаторы	 		Раздел 5	—	Раздел 7
Синфазные дроссели	 		Раздел 7	Раздел 6	Раздел 7
Резисторы			CISPR 12:2007 (приложение E)	—	—
Фильтр (множественные линии[a]) с землей)		 *R* — стабилизирующий нагрузочный резистор. Корпус заземлен	Раздел 5	—	—

[a] Одна линия без нейтрали, остальные линии с нейтралью или без нейтрали.

4.1 Вносимые потери

4.1.1 Расчет вносимых потерь

Стандартный метод измерения использует калиброванный 50-омный источник сигнала и 50-омный приемник. Вносимые потери определяются по формуле:

$$a_e = 20 \log \frac{V_o}{2V_2}, \quad (1)$$

где a_e — вносимые потери (дВ);

V_0 — выходное напряжение холостого хода генератора сигнала (при входном сопротивлении в 50 Ом);

V_2 — выходное напряжение фильтрующей схемы.

Теория и дополнительная информация измерения вносимых потерь представлены в приложении Е.

4.1.2 Асимметричный (синфазный) режим

Так как все входные и выходные линии соединены параллельно, измеряется только одно заданное значение параметров асимметричных вносимых потерь (см. 5.2.3).

4.1.3 Симметричный (дифференциальный) режим

Каждая пара входных линий должна быть измерена по отношению к соответствующим выходным линиям; измеряются одно заданное значение или одна характеристика вносимых потерь для каждой линии пар. Заземляющие выводы или PE-выводы (защитное заземление) не рассматриваются (см. 5.2.4).

Например, для трехлинейного фильтра с нейтральной линией (выводы линий L1, L2, L3, нейтральный вывод N и PE) должны быть выполнены следующие измерения: L1 с L2, L1 с L3, L2 с L3, L1 с N, L2 с N, L3 с N (всего 6 измерений).

Симметричный режим измерения не может быть применен к однолинейным фильтрам или компонентам.

4.1.4 Несимметричный режим

Каждая входная линия должна быть измерена по отношению к соответствующей выходной линии со всеми неиспользуемыми линиями, нагруженными на согласованное полное сопротивление (обычно 50 Ом) к опорному потенциалу (см. 5.2.5).

Например, для трехлинейного фильтра с линией нейтрали (выводы линий L1, L2, L3, нейтральный вывод N и PE) должны быть выполнены следующие измерения: L1 с выводами L2, L3 и N; L2 с выводами L1, L3 и N; L3 с выводами L1, L2 и N; N с выводами L1, L2, и L3.

Измерения в несимметричном режиме не могут быть применены к однолинейным фильтрам или компонентам.

4.2 Полное сопротивление

Часто фильтрующее устройство для обеспечения электромагнитной совместимости определенного полного сопротивления подключают в схемы для уменьшения нежелательных токов. Характеристики подавления могут быть определены с помощью характеристик полного сопротивления обоих оборудований: подключаемого устройства и оригинальной схемы.

Полное сопротивление оборудования и, следовательно, характеристики подавления изменяются в зависимости от частоты, условий смещения и т. п. Поэтому полное сопротивление должно быть измерено на различных частотах. Эта частотная зависимость используется для проектирования фильтрующего электромагнитного устройства. Измерения полного сопротивления могут быть проведены в полосе частот от 9 кГц до 3 ГГц.

4.3 *S*-параметры

4.3.1 Общие положения

Электромагнитные характеристики оборудования определяются *S*-параметрами как подключаемого устройства, так и оригинальной схемы.

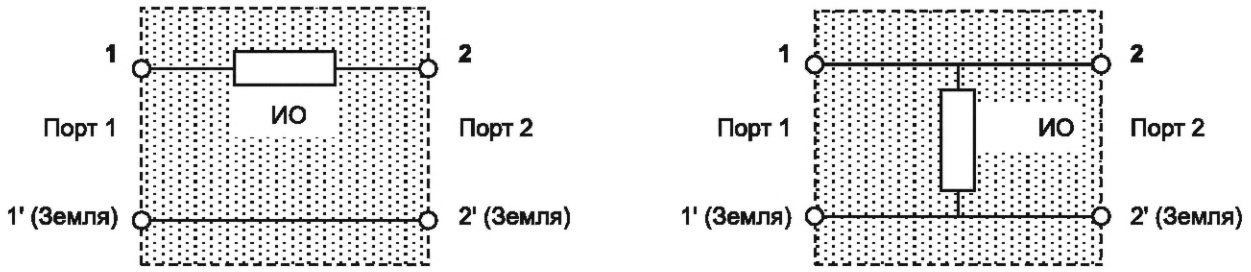
S-параметры оборудования и, следовательно, характеристики подавления изменяются в зависимости от частоты, условий смещения и т. п. Поэтому *S*-параметры должны быть измерены на различных частотах. Эта частотная зависимость используется для проектирования фильтрующего электромагнитного устройства. Измерения *S*-параметров могут быть произведены в полосе частот от 100 МГц до 6 ГГц.

4.3.2 S-параметры оборудования с двумя портами

Характеристики двухвыводных компонентов (дроссели, конденсаторы и т. д.) могут быть оценены в виде *S*-параметров оборудования с двумя портами с помощью испытательного устройства, как отражено на рисунке 1. Трехвыводные фильтры (проходные конденсаторы, другие трехвыводные фильтры) также оцениваются с помощью испытательного устройства в соответствии с рисунком 2.

Возможны две конфигурации подключения оборудования с двумя портами и испытательного устройства: последовательное соединение либо параллельное соединение. Одна из этих конфигураций должна быть выбрана в зависимости от применения оборудования. Последовательное соединение

обычно выбирают для дросселей, а параллельное — для конденсаторов. Однако когда конденсаторы используются как высокочастотные фильтры (HPF), может быть выбрано последовательное соединение.



a) последовательное соединение для высокоомного ИО, отнесенное к 50 Ом

b) параллельное соединение для низкоомного ИО, отнесенное к 50 Ом

Рисунок 1 — Измерительная схема *S*-параметров оборудования с тремя выводами

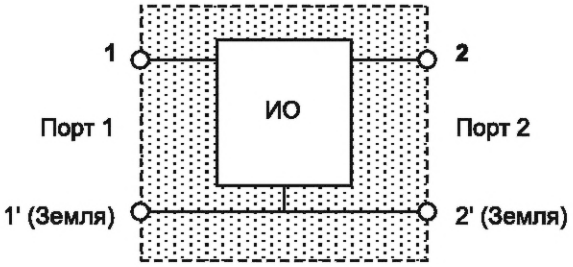


Рисунок 2 — Измерительная схема *S*-параметров оборудования с тремя выводами

Характеристическое полное сопротивление *S*-параметра испытательного устройства должно быть согласовано с полным сопротивлением порта анализатора цепей (50 Ом).

Когда испытательное устройство согласовано к 50 Ом, вносимые потери a_e, в дБ, могут быть заданы следующим образом:

$$a_e = -20\log|S_{ij}|. \quad (2)$$

Потери отражения a_r, в дБ, определяются как:

$$a_r = -20\log|S_{ii}|. \quad (3)$$

4.3.3 *S*-параметры оборудования с четырьмя портами

Характеристики оборудования с четырьмя портами (изображенные на рисунке 3), такого как СД, могут быть оценены с помощью *S*-параметров для четырех портов (см. приложение G).

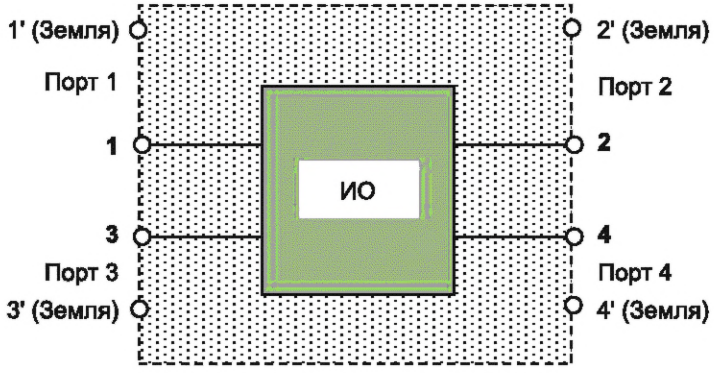


Рисунок 3 — Измерительная схема *S*-параметров оборудования с четырьмя портами

Измерения с помощью векторного анализатора цепей (VNA) дают S-параметры S_{ij} для четырех портов. Однако S-параметры в синфазном/дифференциальном режиме, полученные измерением S-параметров, более пригодны для описания характеристик оборудования (далее оговариваются как S-параметры смешанного режима) [5][1]. Это определяется следующей формулой:

$$S' = \begin{bmatrix} S_{cc} & S_{cd} \\ S_{dc} & S_{dd} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{cc|cc} S_{cc11} & S_{cc12} & S_{cd11} & S_{cd12} \\ S_{cc21} & S_{cc22} & S_{cd21} & S_{cd22} \\ \hline S_{dc11} & S_{dc12} & S_{dd11} & S_{dd12} \\ S_{dc21} & S_{dc22} & S_{dd21} & S_{dd22} \end{array}\right] =$$

$$= \frac{1}{2}\left[\begin{array}{cc|cc} S_{11}+S_{31}+S_{13}+S_{33} & S_{12}+S_{32}+S_{14}+S_{34} & S_{11}+S_{31}-S_{13}-S_{33} & S_{12}+S_{32}-S_{14}-S_{34} \\ S_{21}+S_{41}+S_{23}+S_{43} & S_{22}+S_{42}+S_{24}+S_{44} & S_{21}+S_{41}-S_{23}-S_{43} & S_{22}+S_{42}-S_{24}-S_{44} \\ \hline S_{11}-S_{31}+S_{13}-S_{33} & S_{12}-S_{32}+S_{14}-S_{34} & S_{11}-S_{31}-S_{13}+S_{33} & S_{12}-S_{32}-S_{14}+S_{34} \\ S_{21}-S_{41}+S_{23}-S_{43} & S_{22}-S_{42}+S_{24}-S_{44} & S_{21}-S_{41}-S_{23}+S_{43} & S_{22}-S_{42}-S_{24}+S_{44} \end{array}\right]. \quad (4)$$

Подматрицы в вышеприведенной формуле отображают преобразование характеристик между режимами, где:

S_{cc} — матрица для преобразования из синфазного режима в синфазный;

S_{cd} — матрица для преобразования из дифференциального режима в синфазный;

S_{dc} — матрица для преобразования из синфазного режима в дифференциальный;

S_{dd} — матрица для преобразования из дифференциального режима в дифференциальный.

Каждая подматрица имеет четыре элемента. Например, для подматрицы S_{cc}:

S_{cc11} — коэффициент отражения на входе;

S_{cc12} — коэффициент передачи от выхода к входу;

S_{cc21} — коэффициент передачи от входа к выходу;

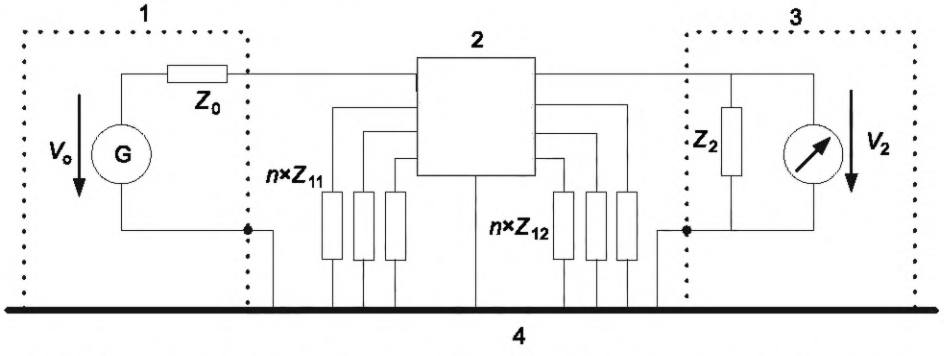
S_{cc22} — коэффициент отражения на выходе.

Опорные полные сопротивления синфазного и дифференциального режимов составляют половину и удвоенное значение опорного полного сопротивления действующего порта соответственно. Например, когда исходные S-параметры измерены 50-омными приборами, полные сопротивления портов синфазного и дифференциального режимов становятся 25 Ом и 100 Ом соответственно.

5 Измерение вносимых потерь

5.1 Общие положения

Настоящий раздел описывает методы для выполнения измерений вносимых потерь ИО. Дополнительно могут быть использованы измерения S-параметров оборудования с двумя портами, описанные в 4.3.2. Пример схемы измерений показан на рисунке 4.



1 — генератор сигнала; 2 — фильтрующее устройство для обеспечения электромагнитной совместимости (испытуемое оборудование); 3 — измерительный приемник; 4 — опорный потенциал (металлическая пластина заземления); V_o — напряжение холостого хода генератора; V_2 — выходное напряжение; Z_0 — полное сопротивление генератора; Z_{11} — полное сопротивление выводов (смежных линий) на входе фильтра; Z_{12} — полное сопротивление выводов (смежных линий) на выходе фильтра; Z_2 — полное сопротивление приемника

Рисунок 4 — Схема измерений для измерения вносимых потерь (пример: 4-линейный фильтр)

[1] Цифры, приведенные в квадратных скобках, относятся к библиографии.

5.2 Организация измерений

5.2.1 Общие положения

Вносимые потери фильтрующего электромагнитного устройства должны быть измерены с током смещения, а также без него.

5.2.2 Испытательное оборудование

Примечание — Процедуру измерения можно существенно упростить за счет использования подходящего генератора развертки и синхронно настроенного приемника или анализатора цепей. Характеристики вносимых потерь затем можно считать с дисплея или автоматически записать.

5.2.2.1 Генератор сигналов

Рекомендуется использовать генератор синусоидальных сигналов. Также могут быть использованы генераторы других сигналов (например, шумовые или импульсные), которые имеют однородный выходной спектр в интересующей полосе частот, но в этом случае приемник должен иметь хорошую селективность и побочную резекцию. Полное сопротивление генератора сигналов должно составлять 50 Ом.

5.2.2.2 Приемник

Рекомендуется использовать селективный приемник (имеющий хотя бы одну резонансную цепь до первого каскада усиления). Допустимо использование неселективных приемников, если гармоники и другие нежелательные частоты на выходе генератора достаточно малы, но следует принимать в расчет неопределенность измерений. Полное сопротивление приемника должно составлять 50 Ом.

5.2.2.3 Источник тока смещения

Источник тока смещения должен быть плавающим и иметь два вывода (на рисунке 9 обозначены как E и F), изолированные от земли, с возможностью заземления любого из них при необходимости.

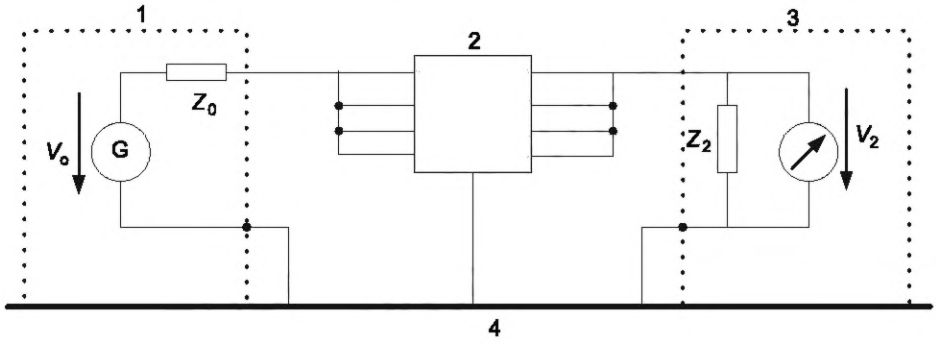
Необходимо обратить внимание на то, чтобы радиочастотные помехи, наводимые источником тока смещения (например, импульсным источником питания), не оказывали влияния на результаты измерения.

5.2.2.4 Корпус для испытаний

Фильтр должен монтироваться в экранированный металлический корпус, а заземление фильтра должно быть подключено к низу металлического ящика, чтобы обеспечивать низкую индуктивность заземления. Размер ящика должен быть выбран так, чтобы обеспечить достаточное расстояния между испытуемым фильтром и металлическими стенками и крышкой ящика, но в то же время должно быть обеспечено короткое соединение проводов коаксиальных выводов к выводам фильтра. Для фильтров общего назначения рекомендовано среднее расстояние 5 см. Типичное построение испытательного ящика для фильтров общего назначения и фильтров питания приведено в приложении B.

5.2.3 Асимметричная (синфазный режим) схема испытаний

Фильтр должен быть включен между генератором сигналов и приемником; входные и выходные линии должны быть соединены друг с другом параллельно, как показано на рисунке 5.



1 — генератор сигналов; 2 — фильтрующее устройство для обеспечения электромагнитной совместимости (испытуемое оборудование); 3 — измерительный приемник; 4 — опорный потенциал (металлическая пластина заземления); V_o — напряжение холостого хода генератора; V_2 — выходное напряжение; Z_0 — полное сопротивление генератора; Z_2 — полное сопротивление приемника

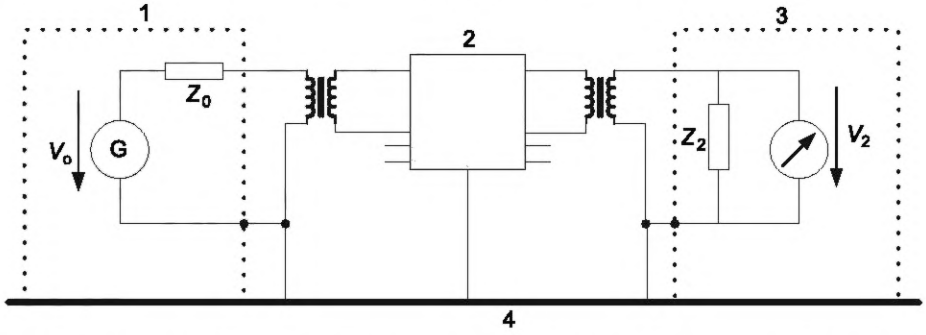
Рисунок 5 — Схема испытаний для измерения асимметричных вносимых потерь (пример: 4-линейный фильтр)

5.2.4 Симметричная (дифференциальный режим) схема испытаний

Обе входные линии и соответствующие выходные линии должны быть измерены с помощью изолирующих трансформаторов, как отражено на рисунке 6. Все неиспользуемые линии не должны быть нагружены.

Коэффициент трансформации должен быть 1:1. Если выбраны другие коэффициенты трансформации, то они должны быть отражены в протоколе испытаний.

Примечание — Нежелательного влияния характеристик трансформации можно избежать используя четырехпортовый векторный анализатор цепей вместо трансформатора.

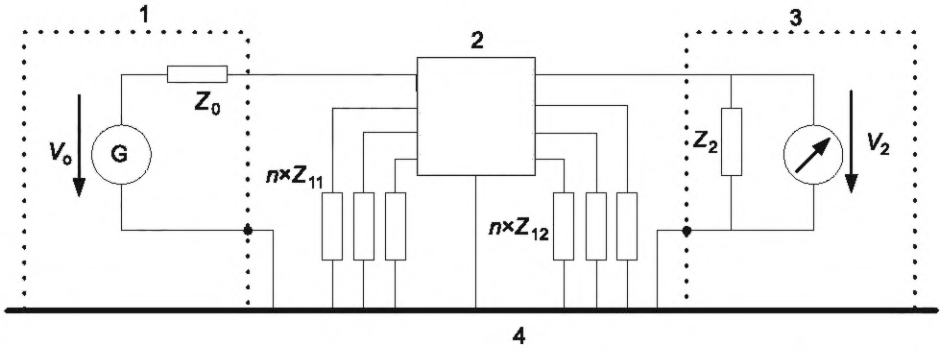


1 — генератор сигнала; 2 — фильтрующее устройство для обеспечения электромагнитной совместимости (испытуемое оборудование); 3 — измерительный приемник; 4 — опорный потенциал (металлическая пластина заземления); V_o — напряжение холостого хода генератора; V_2 — выходное напряжение; Z_0 — полное сопротивление генератора; Z_2 — полное сопротивление приемника

Рисунок 6 — Схема испытаний для измерения симметричных вносимых потерь (пример: 4-линейный фильтр)

5.2.5 Несимметричная схема испытаний

Каждая входная линия и соответствующая выходная линия должны быть измерены, неиспользуемые линии должны быть подключены к опорному потенциалу с согласованным полным сопротивлением (обычно 50 Ом, см. 3.1.8), как показано на рисунке 7.



1 — генератор сигнала; 2 — фильтрующее устройство для обеспечения электромагнитной совместимости (испытуемое оборудование); 3 — измерительный приемник; 4 — опорный потенциал (металлическая пластина заземления); V_o — напряжение холостого хода генератора; V_2 — выходное напряжение; Z_0 — полное сопротивление генератора; Z_{11} — полное сопротивление выводов (смежных линий) на входе фильтра; Z_{12} — полное сопротивление выводов (смежных линий) на выходе фильтра; Z_2 — полное сопротивление приемника

Рисунок 7 — Схема испытаний для измерения несимметричных вносимых потерь (пример: 4-линейный фильтр)

5.3 Методы измерений (процедура)

5.3.1 Общие положения

Используют два метода:

a) фильтр без смещения;

b) фильтр под полным постоянным или переменным током смещения.

Эти два метода должны использоваться для анализа фильтров следующим образом:

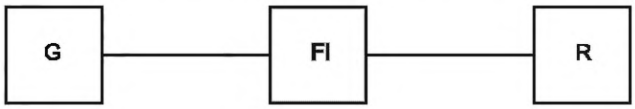
- без смещения, применяется для полосы частот 10 кГц—10 ГГц;
- под током смещения свыше 100 А, применяется для полосы частот 10 кГц—100 МГц.

Только метод испытаний, указанный в настоящем стандарте, должен быть методом испытаний 50 Ом/50 Ом. Это означает, что все полные сопротивления схемы испытаний Z_0, Z_{11}, Z_{12} и Z_2 должны быть 50 Ом (см. 3.1.10).

При необходимости возможно использование методов с другими и даже несимметричными полными сопротивлениями. Один пример описан в приложении С. Обычно методы испытаний, использующие значение полного сопротивления, отличное от 50 Ом, зависят от конкретного применения и должны быть описаны в соответствующих стандартах на оборудование.

5.3.2 Измерение без смещения

Характеристики, полученные измерением без смещения, могут отличаться от тех, которые наблюдаются на практике, потому что полные сопротивления нагрузок во время испытаний отличаются от имеющихся при использовании в реальных аппаратах или системах. См. рисунок 8.



G — генератор сигнала; FI — фильтрующее устройство для обеспечения электромагнитной совместимости (испытуемое оборудование); R — измерительный приемник

Рисунок 8 — Схема испытаний для измерения вносимых потерь без смещения

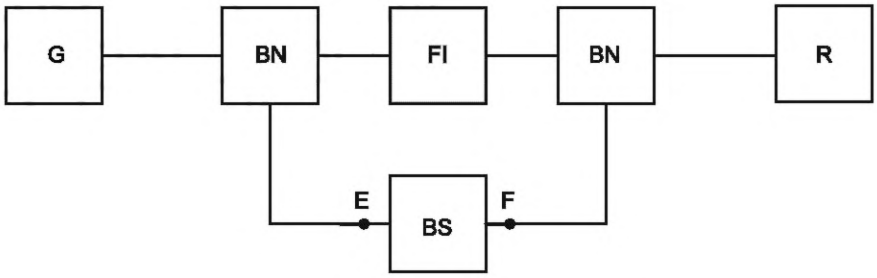
5.3.3 Измерение со смещением

Метод испытаний такой же, как и описанный в 5.3.2, с добавлением буферной схемы для источника тока смещения. См. рисунок 9.

Ток смещения, приложенный к испытуемому фильтру, должен быть номинальным током фильтра. Для фильтров, в которых постоянно используются большие импульсные токи (например, преобразователи частоты), при необходимости подбирается соответствующий ток смещения.

Источник тока смещения подсоединен к измерительной схеме через две буферные схемы, которые должны обеспечить достаточную развязку между источником тока и измерительной схемой в измеряемой полосе частот. Должны быть соблюдены требования к буферным схемам, установленные в приложении D.

Источник тока смещения должен быть изолирован от схемы измерений.



G — генератор сигнала; FI — фильтрующее устройство для обеспечения электромагнитной совместимости (испытуемое оборудование); R — измерительный приемник; BN — буферная схема; BS — источник смещения (источник тока) — изолирован от опорного потенциала

Рисунок 9 — Схема испытаний для измерения вносимых потерь со смещением

5.4 Калибровка и проверка

5.4.1 Общие положения

Все измерительное оборудование (генератор сигнала, приемник, кабели, аттенюаторы и т. д.) должно быть откалибровано и зарегистрировано в национальном органе по стандартизации.

Все испытательное оборудование должно быть оценено для подтверждения соответствия всем требованиям. Оценка также включает в себя экранированный ящик, предназначенный для размещения фильтра и буферных схем при испытаниях со смещением, а также ручных переключателей или блоков реле для автоматизированных измерений.

Так как полное сопротивление фильтров не равно 50 Ом, на некоторых этапах проверки необходимо также убедиться в корректности функционирования испытательного оборудования для несогласованных испытуемых объектов.

5.4.2 Проверка схемы испытаний без смещения

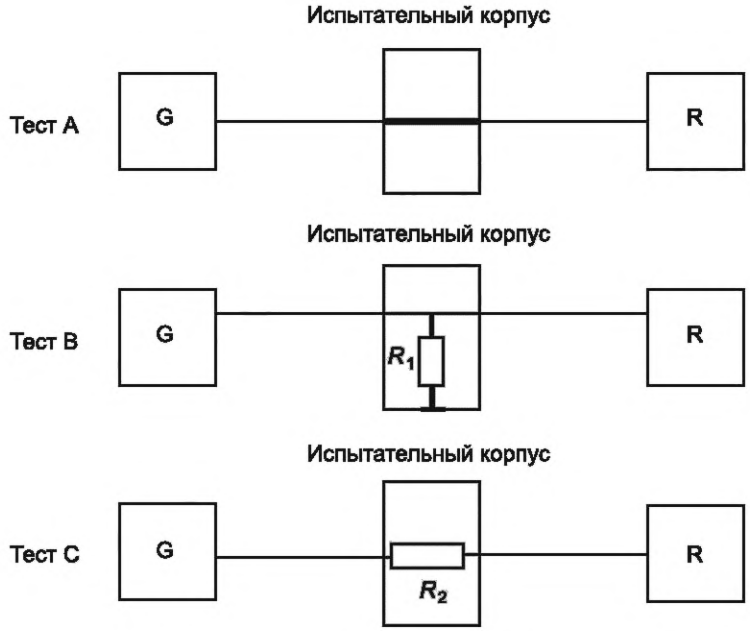
Схема испытаний должна быть проверена серией измерений с определенными омическими испытательными цепями, как показано на рисунке 10.

Тест А применяется для определения корректного значения выходного напряжения генератора радиочастотных сигналов, которое равно половине напряжения холостого хода, при оконечной нагрузке в 50 Ом (полное сопротивление испытательного приемника).

Тест В применяется для определения способности генератора радиочастотных сигналов к обеспечению достаточного выходного тока в испытуемые объекты с низким полным сопротивлением (такие как фильтры с высокими значениями емкостей).

Тест С применяется для определения достаточности динамического диапазона испытательного приемника.

Для тестов А—С измерения должны быть проведены в соответствии с допусками, установленными в таблице 2.



G — генератор сигнала; R — измерительный приемник

Рисунок 10 — Схема испытаний для проверки измерительной схемы без смещения

Таблица 2 — Условия и заданные значения для проверки схемы испытаний без смещения

Тест	R	V_2	V_2/V_0
A	Сквозной	0,5 × V_0	(–6 ± 0,5) дБ
B	R_1 = 0,1 Ом	0,002 × V_0	(–54 ± 1) дБ
C	R_2 = 100 кОм	0,000 5 × V_0	(–66 ± 1) дБ
Допуск R_1 и R_2 составляет ±1 %.			

Схемы испытаний должны быть использованы в полосе частот, при которой результаты проверки соответствуют требованиям таблицы 2, где V_0 — ЭДС (В) сигнального генератора G, V_2 — напряжение на клеммах измерительного приемника. Значения R_1 и R_2 могут отличаться в зависимости от частоты и испытуемого оборудования (ИО).

5.4.3 Проверка схемы испытаний со смещением

Схема испытаний должна быть проверена серией измерений с определенными омическими испытательными цепями, как отражено на рисунке 11.

Тест А применяется для определения корректного значения выходного напряжения из генератора радиочастотного сигнала, которое равно половине напряжения холостого хода, при оконечной нагрузке в 50 Ом (полное сопротивление испытательного приемника).

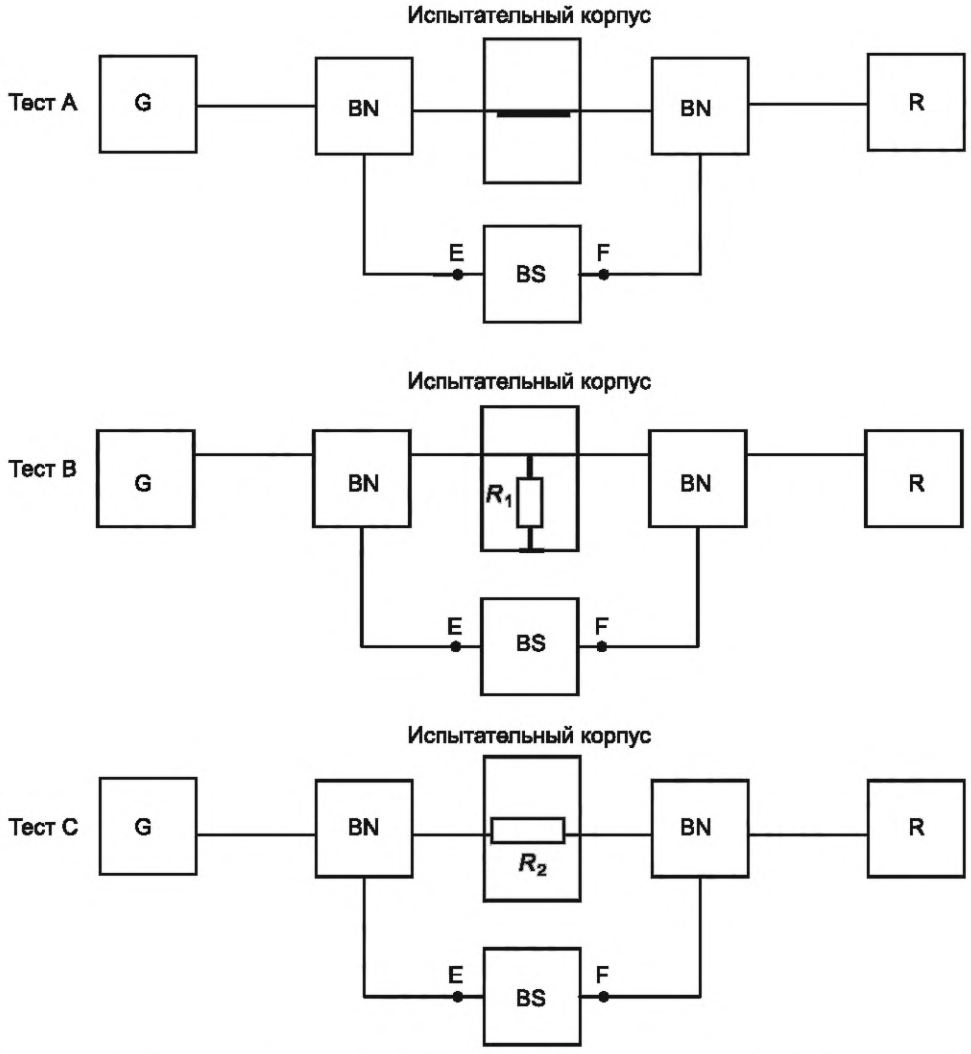
Тест В применяется для определения способности генератора радиочастотных сигналов к обеспечению достаточного выходного тока в испытуемые объекты с низким полным сопротивлением (такие как фильтры с большими значениями емкостей).

Тест С применяется для определения достаточности динамического диапазона испытательного приемника.

Для тестов А—С должны быть выполнены следующие условия:

- выводы E и F не соединены (холостой ход, XX);
- выводы E и F соединены короткозамкнуто (КЗ).

Для тестов А—С измерения должны быть проведены в соответствии с допусками, указанными в таблице 3.



G — генератор сигнала; R — измерительный приемник; BN — буферная цепь; BS — источник смещения (источник тока) — изолирован от опорного потенциала

Рисунок 11 — Схема испытаний для проверки измерительной схемы со смещением

Таблица 3 — Условия и заданные значения для проверки схемы испытаний со смещением

Тест		R	V_2	V_2/V_o
A	XX	Сквозной	0,5 × V_o	(–6 ± 0,5) дБ
	КЗ		0,5 × V_o	(–6 ± 0,5) дБ
B	XX	R_1 = 0,1 Ом	0,002 × V_o	(–54 ± 1) дБ
	КЗ		0,002 × V_o	(–54 ± 1) дБ
C	XX	R_2 = 100 кОм	0,000 5 × V_o	(–66 ± 1) дБ
	КЗ		0,000 5 × V_o	(–66 ± 1) дБ
Допуск R_1 и R_2 составляет ±1 %.				

Схемы испытаний должны быть использованы в полосе частот, в которой результаты проверки соответствуют требованиям таблицы 3, где V_o — ЭДС (В) сигнального генератора G, V_2 — напряжение на клеммах измерительного приемника. Значения R_1 и R_2 могут отличаться в зависимости от частоты и от испытуемого оборудования (ИО).

5.5 Неопределенность измерений

При оценке неопределенностей измерений вносимых потерь необходимо учитывать составляющие неопределенности от:

- измерительного оборудования (относится к спецификации производителя);
- испытательных приспособлений, включая буферные цепи (относится к спецификации производителя, если таковая имеется);
- изменения условий измерений (устанавливается с помощью повторных испытаний).

Подробная информация приведена в приложении А.

6 Измерение полного сопротивления

6.1 Общие положения

Измерение полного сопротивления ИО проводится одним из двух методов: прямым методом, когда полное сопротивление измеряется напрямую, путем использования оборудования для измерения полного сопротивления, и косвенным методом, при котором полное сопротивление рассчитывается через *S*-параметры, измеренные векторным анализатором цепей. Современные векторные анализаторы цепей обычно имеют функцию расчета полного сопротивления.

Примечание — Косвенный метод используется, как правило, на частотах свыше 1 ГГц.

6.2 Прямой метод

6.2.1 Схема испытаний и процедура

Полное сопротивление ИО измеряется с использованием измерителя полного сопротивления и испытательного устройства.

Полное сопротивление должно измеряться путем помещения ИО в испытательное устройство с изменением измерительной частоты оборудования измерения полного сопротивления. Соотношение между полным сопротивлением и частотой должно быть зарегистрировано в пределах необходимой полосы частот.

Подходящая комбинация измерительного оборудования и испытательного устройства должна быть выбрана согласно конфигурации ИО и испытательной частоты. Примеры измерения полного сопротивления приведены в приложении F (питающего оборудования, SMD, четырехконтактного CMCC и т. д.).

Если подается ток или напряжение смещения к ИО, то должны применяться буферные цепи, чтобы избежать влияния измерительной схемы. Если оборудование измерения полного сопротивления не имеет встроенной буферной цепи, то может быть использована буферная цепь схемы испытаний. В последнем случае калибровка должна быть выполнена со вставленной буферной цепью.

Оборудование измерения полного сопротивления и испытательное устройство должны быть установлены при окружающих условиях, свободных от существенных изменений температуры и внешних электромагнитных полей. Испытательная система должна быть откалибрована вместе с испытуемым устройством. Должны быть зарегистрированы условия окружающей среды и настройки анализатора, используемые при испытаниях, такие как температура, полоса частот, входная радиочастотная мощность, ток или напряжение смещения и т. д. Должны быть учтены следующие условия:

- схема испытаний должна иметь достаточное отношение «сигнал — шум» (≥30 дБ);
- испытание должно быть проведено при номинальных условиях для ИО, если не указано иное;
- при подаче тока или напряжения смещения необходимо принять меры по предотвращению избыточного смещения для ИО (особенно в случае оборудования с ферритами);
- для используемого испытательного устройства должен быть выбран соответствующий метод калибровки (XX-/КЗ-калибровка, XX-/КЗ-калибровка/нагрузка и т. д.).

6.2.2 Калибровка схемы испытаний

Система испытаний должна быть зарегистрирована в государственной метрологической организации.

Нижеупомянутые факторы могут влиять на результаты измерений ИО, поэтому система измерений должна быть откалибрована для уменьшения неопределенности измерений из-за воздействия неизвестных полных сопротивлений, связанных с измерительными приборами, испытательными устройствами и кабелями.

Примером процедуры калибровки является OSL-калибровка, при которой используется комплект мер калибровочных, включающий в себя стандартные меры холостого хода (XX), короткого замыкания (КЗ) и согласованной нагрузки. Если большая точность измерений не требуется, возможно, не потребуется использовать все три стандартные нагрузки калибровочного комплекта оборудования. Подробности процедур могут быть найдены в инструкции по эксплуатации измерительных приборов.

При возможности стандартное ИО может быть использовано для повышения точности измерений.

6.2.3 Неопределенность измерений

Следующие факторы должны быть рассмотрены при оценке неопределенностей измерений, связанных с измерениями с помощью оборудования для измерения полного сопротивления:

- неопределенность компонентов, связанная с оборудованием измерения полного сопротивления (относится к спецификации производителя);
- неопределенность компонентов, связанная с испытательным устройством (относится к спецификации производителя, если таковая имеется);
- неопределенность компонентов, связанная с изменениями условий измерений (устанавливается с помощью повторных испытаний).

Подробная информация приведена в приложении А.

6.3 Косвенный метод

6.3.1 Схема измерения и процедура

6.3.1.1 Общие положения

Полное сопротивление ИО может быть оценено по его *S*-параметрам. В этом случае *S*-параметры измеряются с помощью анализатора цепей. В 7.1 дано описание схемы измерения *S*-параметров.

Полное сопротивление ИО может быть рассчитано по *S*-параметрам одного, двух или четырех портов. Необходимо обратить внимание на то, что значения измеренных *S*-параметров должны быть такими же, как у ИО, и должны быть независимы от различных влияний испытательного устройства.

6.3.1.2 Определение с помощью *S*-параметров одного порта

Следующая формула используется для вычисления полного сопротивления Z_x по S_{11}, где Z_0 — опорное полное сопротивление порта (см. рисунок 12).

$$Z_x = Z_0 \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}}, \tag{5}$$

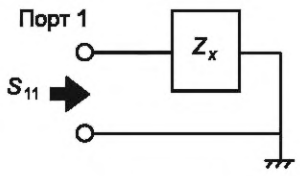


Рисунок 12 — Однопортовое измерение двухвыводного оборудования

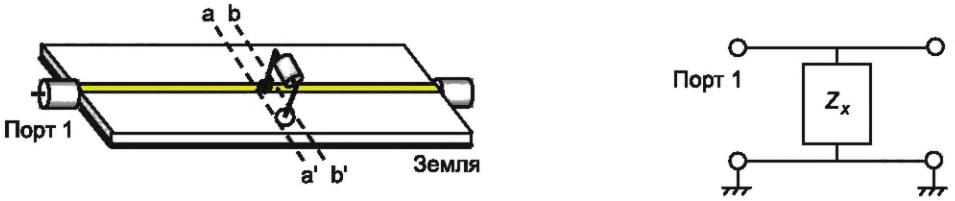
6.3.1.3 Определение с помощью *S*-параметров двух портов

Полное сопротивление ИО может быть определено с помощью *S*-параметров, измеренных векторным анализатором цепи, с использованием соответствующего испытательного устройства, как показано на рисунках 13 и 14.



a) пример схемы измерения b) эквивалентная схема

Рисунок 13 — Измерение *S*-параметров для определения полного сопротивления оборудования с последовательным включением



a) пример схемы измерения b) эквивалентная схема

Рисунок 14 — Измерение *S*-параметров для определения полного сопротивления оборудования с параллельным включением

S-параметры должны быть оценены между двумя опорными пластинами (a-a') и (b-b'), каждая из которых откалибрована методом TRL-калибровки или с помощью корректирующих *S*-параметров, измеренных между портами 1 и 2 для электрических длин линий.

Предполагая симметричные свойства ИО, средние коэффициенты отражения и передачи определяются как:

$$R = \frac{S_{11} + S_{22}}{2} \text{ и } T = \frac{S_{12} + S_{21}}{2}. \quad (6)$$

Если выполняется условие $|2T| >> |(1 - T)^2 - R^2|$, полное сопротивление оборудования Z_x рассчитывается системой уравнений (7) и (8):

для последовательного включения:

$$Z_x = Z_0 \frac{(1 + R)^2 - T^2}{2T}; \quad (7)$$

для параллельного включения:

$$Z_x = Z_0 \frac{2T}{(1 - R)^2 - T^2}, \quad (8)$$

где Z_0 — характеристическое полное сопротивление испытательного устройства.

Если предыдущие условия не выполнены, испытательное устройство может влиять на результаты измерений, и уравнения (7) и (8) могут дать ошибочный результат.

Полные сопротивления *S*-параметров двух портов, описанные в настоящем подпункте, могут отличаться на высоких частотах от тех, что описаны в 6.3.1.2, потому что *S*-параметры одного порта могут зависеть от структуры используемого испытательного устройства.

6.3.1.4 Оценка с помощью *S*-параметров четырех портов

Полные сопротивления синфазного и дифференциального режимов Z_c и Z_d ИО могут быть определены исходя из *S*-параметров смешанного режима S_{cc} и S_{dd} с помощью следующего уравнения, если ИО имеет хорошую симметрию. Определение *S*-параметров смешанного режима приведено

в 4.3.3. Полные сопротивления Z_c и Z_d получены из уравнений (9) и (10) при фактических измерениях *S*-параметров. Необходимо обратить внимание, что Z_{c0} и Z_{d0} являются опорными полными сопротивлениями для синфазного и дифференциального режимов соответственно:

$$\begin{aligned} Z_c &= Z_{c0}\frac{(1+R_c)^2 - T_c^2}{2T_c}, \\ R_c &= \frac{S_{cc11} + S_{cc22}}{2}, \\ T_c &= \frac{S_{cc12} + S_{cc21}}{2}; \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned} Z_d &= Z_{d0}\frac{(1+R_d)^2 - T_d^2}{2T}, \\ R_d &= \frac{S_{dd11} + S_{dd22}}{2}, \\ T_d &= \frac{S_{dd12} + S_{dd21}}{2}. \end{aligned} \tag{10}$$

6.3.2 Калибровка схемы испытаний

См. 7.2.

6.3.3 Неопределенность измерений

Неопределенность измерений полного сопротивления с помощью *S*-параметров связана с неопределенностью измерений *S*-параметров. См. 7.3.

7 Измерение *S*-параметров

7.1 Схема измерения и процедура

7.1.1 Общие положения

Анализатор цепей (50-омная система) используется для измерения *S*-параметров ИО. Векторный анализатор цепей — это инструмент с функцией определения *S*-параметров прямо при измерении амплитуды и фазы различных падающих, отраженных и проходящих волн. Рисунок 15 иллюстрирует схему для измерения двух портов.

S-параметры должны быть измерены, когда ИО помещено в испытательное устройство, с изменением измерительной частоты анализатора цепей. Отношение между *S*-параметрами и частотой должно быть зафиксировано в пределах требуемой полосы частот.

Ток или напряжение смещения должны применяться при использовании буферных цепей, чтобы избежать влияния измерительной схемы. Если анализатор цепей не имеет встроенных буферных схем, то в схеме испытаний могут использоваться серийно выпускаемые Т-образные сочленения. В последнем случае калибровка должна осуществляться с присоединенной буферной схемой.

Когда необходимо определять только вносимые потери $|S_{21}|$, измерения могут быть проведены с использованием трекинг-генератора и измерительного приемника вместо анализатора цепей, описанного выше.

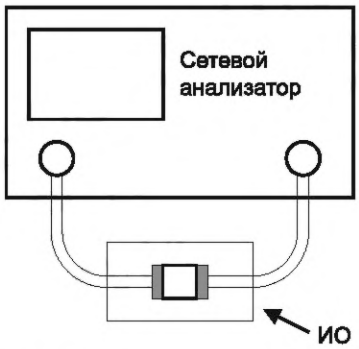


Рисунок 15 — Схема измерения *S*-параметров двух портов

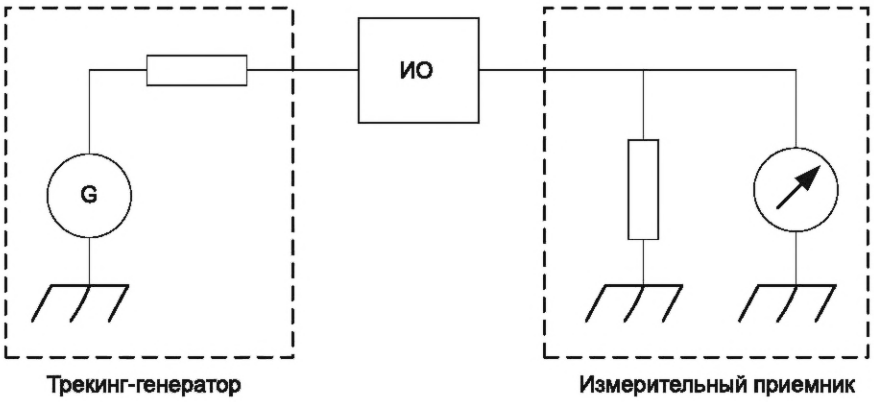


Рисунок 16 — Альтернативная измерительная система для измерения вносимых потерь ИО (используется комбинация трекинг-генератора и измерительного приемника)

Анализатор цепей и испытательное устройство должны быть установлены в окружающих условиях, свободных от существенных изменений температуры и внешних электромагнитных полей. Испытательная система должна быть откалибрована вместе с испытательным устройством. При испытаниях должны быть зарегистрированы условия окружающей среды, такие как температура, настройки анализатора, полосы частот, входная радиочастотная мощность, ток или напряжение смещения и т. д.

Далее приведены примеры требуемых характеристик системы измерения *S*-параметров:

- динамический диапазон должен быть достаточным для измерения ослабления ИО;
- для испытаний должны выбираться соответствующие кабели, соединители, адаптеры и т. д. Соединения должны быть затянуты с указанным крутящим моментом;
- испытание должно быть выполнено при номинальных условиях для ИО, если не указано иное;
- при подаче тока или напряжения смещения следует соблюдать осторожность, чтобы исключить избыточное подмагничивание ИО (особенно в случае оборудования с ферритами).

7.1.2 Испытательное устройство

7.1.2.1 Общие положения

Как правило, ИО подключается к анализатору цепей кабелями. Некоторые категории оборудования, такие как SMD-оборудование и оборудование с выводами, могут не подходить для подключения напрямую. Поэтому они должны измеряться с помощью испытательного устройства. На следующих рисунках приведены примеры устройств с печатными платами (PCB), которые используют планарные передающие линии, такие как микрополосковые и компланарные, с характеристическим сопротивлением 50 Ом. Соединители подключены к выводам печатной платы. Обозначения определены на рисунке 17.

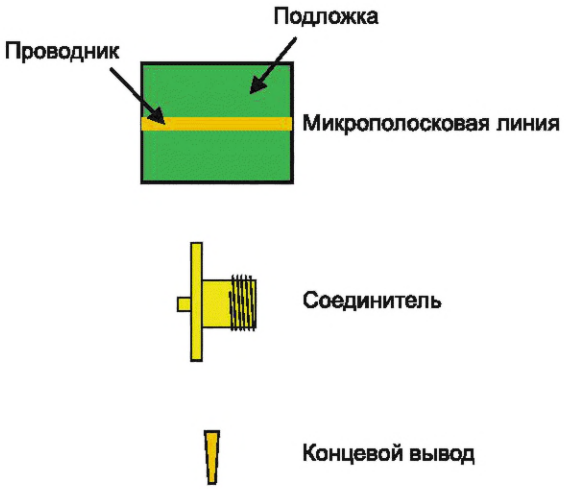


Рисунок 17 — Символические представления

7.1.2.2 Испытательные устройства для SMD-оборудования

7.1.2.2.1 Двухвыводное оборудование. Последовательное соединение

На рисунке 18 приведено испытательное устройство для измерения *S*-параметров двухвыводного оборудования при последовательном соединении. Максимально допустимая частота — около 6 ГГц.

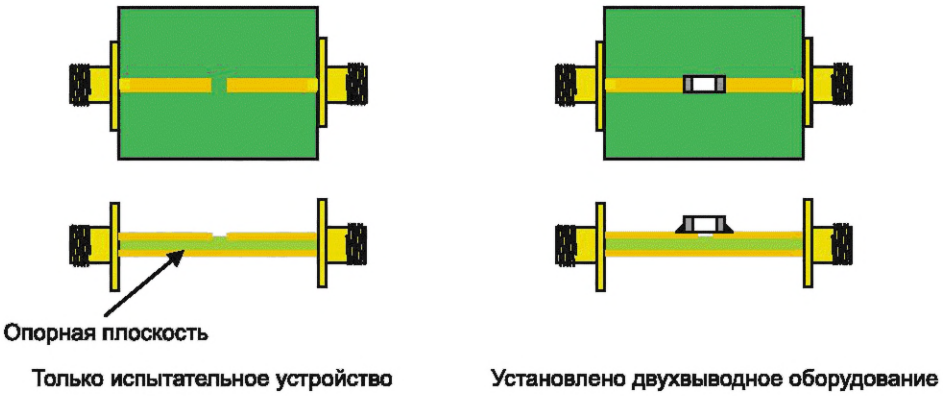


Рисунок 18 — Испытательное устройство для двухвыводного оборудования (последовательное соединение)

7.1.2.2.2 Двухвыводное оборудование. Параллельное соединение

На рисунке 19 приведено испытательное устройство для измерения *S*-параметров двухвыводного оборудования при параллельном соединении. Максимально допустимая частота — около 6 ГГц.

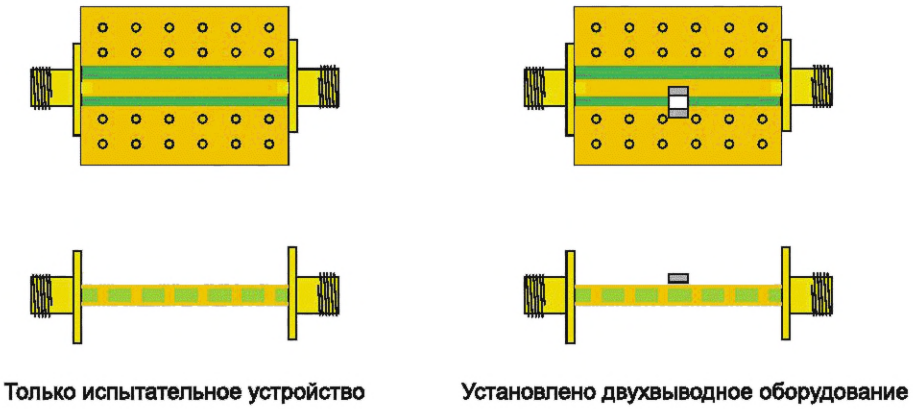


Рисунок 19 — Испытательное устройство для двухвыводного оборудования (параллельное соединение)

7.1.2.2.3 Трехвыводной фильтр

На рисунке 20 приведено испытательное устройство для измерения *S*-параметров трехвыводного фильтра. Максимально допустимая частота — около 6 ГГц.

7.1.2.3 Испытательные устройства для оборудования с выводами

7.1.2.3.1 Двухвыводное оборудование с выводами

На рисунке 21 приведено испытательное устройство для измерения *S*-параметров двухвыводного оборудования при последовательном или параллельном соединении. Максимально допустимая частота — около 1 ГГц.

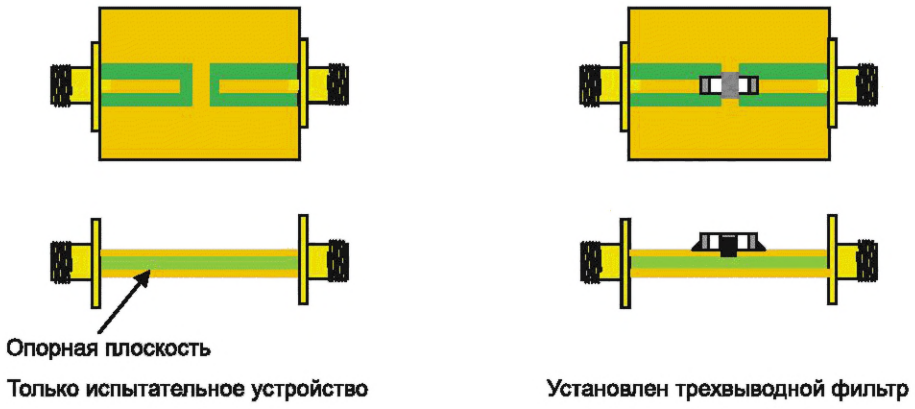


Рисунок 20 — Испытательное устройство для трехвыводного фильтра

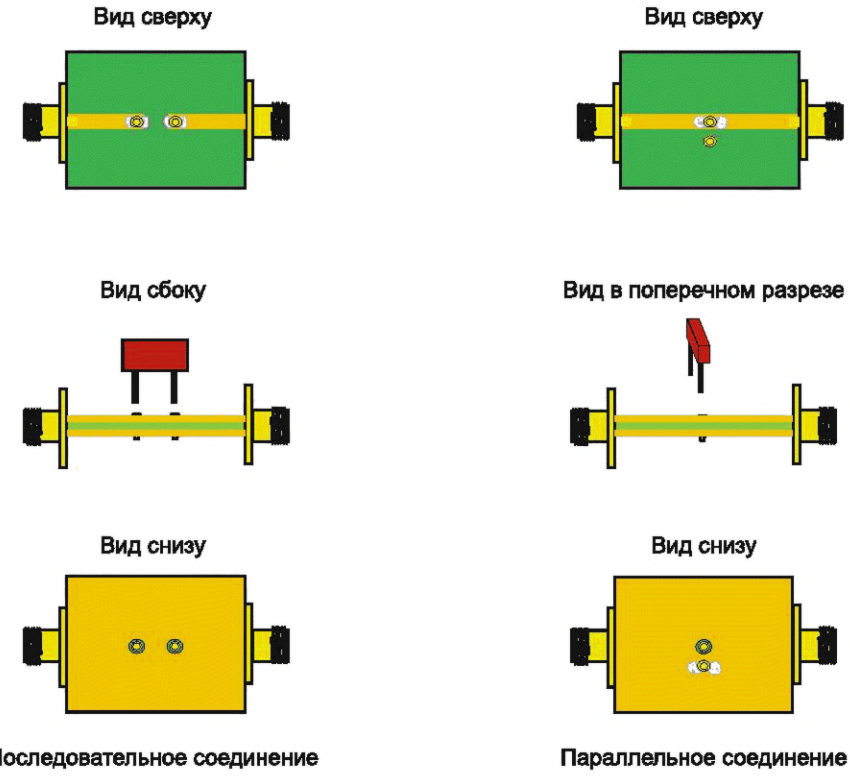


Рисунок 21 — Испытательное устройство для двухвыводного оборудования с выводами

7.1.2.3.2 Трехвыводной фильтр

На рисунке 22 приведено испытательное устройство для измерения *S*-параметров трехвыводного фильтра с выводами. Максимально допустимая частота — около 1 ГГц.

7.1.2.4 Испытательные устройства для оборудования с сердечником

ИО, такое как ферритовые сердечники или ферритовые кольца, измеряется с испытательным устройством, в котором проводящий провод помещен в отверстие ИО, как показано на рисунке 23. Также см. приложение Н.

Необходимо обратить внимание на то, чтобы проводник, помещенный в центр отверстия, был отцентрирован в ИО с помощью прокладки. Провод в отверстии должен быть размещен параллельно пластине заземления.

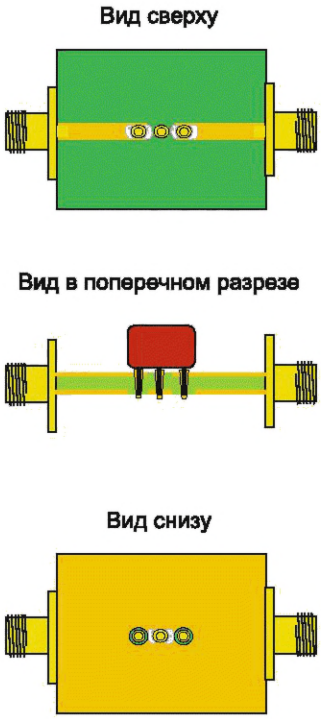


Рисунок 22 — Испытательное устройство для трехвыводного фильтра с выводами

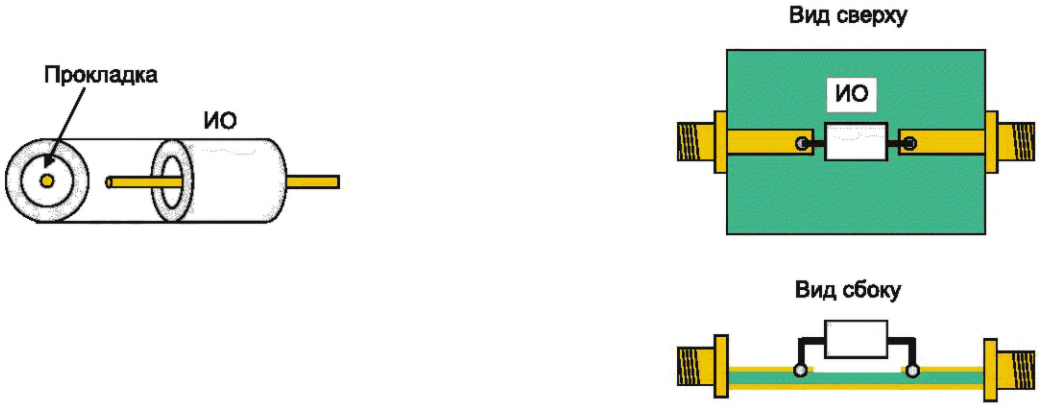


Рисунок 23 — Испытательное устройство для оборудования с сердечником

7.2 Калибровка схемы испытаний

Кабели и испытательное устройство, присоединенные к анализатору цепи, влияют на результат измерения. Чтобы исключить эти влияния, должна быть проведена калибровка.

Должен быть использован один из следующих методов полной калибровки *n*-портов:

a) SOLT-калибровка: используются четыре вида калибровочных мер (короткое замыкание/ холостой ход/нагрузка/сквозной);

b) TRL-калибровка: используются три вида калибровочных мер (сквозной/отраженный/линейный [6]).

Подробная процедура проведения калибровки указана в инструкции по эксплуатации анализатора.

Примечание — Только для вносимых потерь, $1/|S_{21}|$, достаточно выполнить калибровку, использующую сквозной стандарт (т. е. сквозную калибровку). Однако альтернативой с более высокой точностью является калибровка двух портов.

Примеры калибровочной меры (микрополосковые линии) для TRL-калибровки отражены на рисунках ниже.

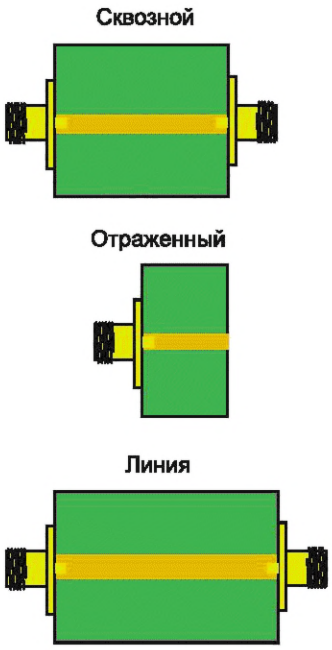


Рисунок 24 — Пример стандартов для TRL-калибровки

7.3 Неопределенность измерений

При оценке неопределенностей измерений, в которых используется векторный анализатор цепей, должны быть учтены следующие факторы:

- неопределенность компонентов, связанных с анализатором цепей (см. справочные значения);
- неопределенность компонентов, связанных с испытательным устройством (см. спецификацию изготовителя, если такая имеется);
- неопределенность компонентов, связанная с изменениями условий измерений (устанавливается с помощью повторных испытаний).

Более подробная информация приведена в приложении А.

8 Представление результатов

8.1 Общие положения

Протокол измерений должен содержать по крайней мере следующие данные:

a) схему испытаний (измерительный прибор и испытательное устройство);

b) условия испытаний: радиочастотный выход (ток, напряжение), напряжение или ток смещения и т. д.;

c) условия окружающей среды: температуру, влажность и т. д.;

d) методы калибровки/валидации;

e) точку измерения;

f) результаты измерений (например, в форме таблицы или диаграммы, содержащей вносимые потери в децибелах как функцию частоты в ортогональных полулогарифмических координатах);

g) неопределенность измерений;

h) описание (фото или эскиз) подключения или монтажа устройства к схеме испытаний с указанием вида и размеров испытательного контейнера/устройства и присоединительных проводов (если требуется);

i) точное описание испытуемого оборудования (например, порядковый номер, серийный номер, технические данные, принципиальная схема);

j) дату и время измерений;

k) имя и должность лица, выполнившего измерение;

l) основополагающие стандарты и спецификации;

m) вносимые потери, полное сопротивление и *S*-параметры в зависимости от параметров, которые должны быть измерены в соответствии с 8.2—8.4.

8.2 Вносимые потери

Протокол испытаний должен содержать следующие данные:

- полное сопротивление схемы испытаний;
- максимально измеримые вносимые потери в схеме испытаний.

8.3 Полное сопротивление

В протоколе испытаний должно быть указано значение опорного полного сопротивления порта, если используется косвенный метод измерений. Полное сопротивление не указывается, если используется прямой метод измерений.

8.4 *S*-параметры

Протокол испытаний должен содержать описание назначения портов и опорного полного сопротивления порта.

Приложение А
(обязательное)

Неопределенность измерений характеристик подавления фильтрующих электромагнитных устройств

А.1 Методика оценки

А.1.1 Общие положения

Прежде всего рассматривают взаимосвязь между измеряемой величиной *Y* (вносимые потери, полное сопротивление или *S*-параметры) и количеством входных величин X_i, от которых зависит *Y*. Взаимосвязь должна содержать каждую величину, включая все поправки и корректирующие факторы, которые могут вносить существенный вклад в неопределенность результатов измерений.

Затем определяют x_i, оценочные значения входных величин X_i, каждая из которых базируется на статистических анализах серий наблюдений или определяется другими способами.

А.1.2 Стандартная неопределенность $u(x_i)$

А.1.2.1 Общие положения

Чтобы описать каждую влияющую величину, которая вносит вклад в суммарную неопределенность измерений, ее идентифицируют как x_i в зависимости от ее типа и рассчитывают статистическим (тип А) либо другим методом (тип В). Метод типа В должен применяться в случае, если имеются данные производителя или калибровки, метод типа А должен применяться только к оборудованию, для которого невозможно установить данные производителя или калибровки (например, к специальным тестовым адаптерам или испытательным устройствам).

А.1.2.2 Тип А (статистический метод)

Метод оценки типа А может основываться на любом статистическом методе для рассматриваемых данных.

Описательная статистика данных (например, среднее значение μ и стандартное отклонение σ для данных) получена статистическим методом. Стандартная неопределенность $u(x_i)$ — это стандартное отклонение от среднего из *n* значений измерений, которое выражается как:

$$u(x_i) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \tag{A.1}$$

где *n* — количество данных.

А.1.2.3 Тип В (другой метод)

Этот подход требует идентификации всех значимых компонентов неопределенности и оценки их величины. Соответствующая функция распределения вероятности должна быть выбрана таким образом, чтобы «нормализовать» каждый воздействующий фактор к стандартному отклонению.

Метод типа В основывается на любой значимой доступной информации, такой как:

a) данные предыдущих измерений;
b) спецификации производителя;
c) данные, предоставленные в протоколах калибровки или других протоколах;
d) экспериментальные расчетные показатели;
e) другие данные.

А.1.3 Суммарная стандартная неопределенность $u_c(y)$

Стандартные отклонения от всех нормализованных компонентов неопределенности, т. е. стандартные неопределенности $u(x_i)$, затем объединяются в определенную суммарную стандартную неопределенность $u_c(y)$ (с квадратным корнем):

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i \left[c_i u(x_i)\right]^2}, \tag{A.2}$$

где c_i — коэффициент чувствительности; описывается как различие оценок *y* с изменением значений входных оценок x_i.

А.1.4 Расширенная неопределенность *U*

Коэффициент охвата *k* применяется для расширения суммарной стандартной неопределенности, чтобы показать интервал, имеющий уровень достоверности (например, *k* = 2 для уровня достоверности приблизительно 95 %).

Расширенная неопределенность получается из следующего уравнения:

$$U = ku_c(y). \tag{A.3}$$

А.2 Представление неопределенности

Правильный способ представления неопределенности измерений в протоколе испытаний — это описание расширенной неопределенности и *k*-фактора с уровнем достоверности. Например:

измеренный результат равен ($y \pm U$) дБ или Ом, *k* = 2 (уровень достоверности 95 %).

Необходимо обратить внимание на то, что анализ неопределенностей измерений основан на наборе допущений. Это должно быть определено и задокументировано. Если фактический сценарий измерения отличается от этих допущений, оценка неопределенности будет неверной и должна быть пересчитана для устранения отклонения.

А.3 Пример расчета неопределенности измерений. Вносимые потери

Анализ неопределенности в таблице А.1 отражает подход применения ISO/IEC Guide 98-3 [4] к методу измерений вносимых потерь, изложенному в 5.3. Предполагается, что анализ типа В, требующий идентификации всех существенных факторов влияний и оценки их значений, выполнен. Когда измеряется значительное количество фильтров, например в промышленной среде, анализ неопределенности измерений может еще основываться на методе А. В каждом случае воспроизводимость определения значений измерений основывается на анализе типа А, когда измеряемая величина (т. е. вносимые потери фильтра) определяется повторно в серии измерений.

Таблица А.1 — Неопределенность измерений вносимых потерь (пример)

Источник неопределенности	Значение, дБ	Возможное распределение	Коэффициент	Коэффициент чувствительности	Стандартная неопределенность, дБ
Генератор сигнала G[a)]	0,2	Прямоугольное	1,732	1	0,12
Приемник[a)]	0,2	Прямоугольное	1,732	1	0,12
Валидация схемы испытаний[b)]	0,5	Прямоугольное	1,732	1	0,29
Воспроизводимость	0,1	Нормальное	1	1	0,1
Суммарная стандартная неопределенность u_c	—	—	—	—	0,35
Расширенная неопределенность U для $k = 2$	—	—	—	—	0,70

[a)] Если используется анализатор цепей, то может быть только одно значение для измерительного комплекта (генератор сигнала + приемник); значение неопределенности зависит главным образом от стабильности измерительного оборудования.

[b)] Неопределенность измерений схемы измерений (кабели, испытательный ящик и т. д.) — результат процедуры проверки согласно 5.4.2 и 5.4.3.

При условиях, приведенных ниже, расширенная неопределенность для измерения вносимых потерь фильтра (синфазный режим без смещения) составляет ±0,7 дБ.

a) Полосу частот для этих измерений допускают от 10 кГц до 1 ГГц.

b) Используют схему измерений согласно рисунку 8.

c) Точно соблюдают процедуру измерения, описанную в 5.3.

d) Валидацию пригодности схемы испытаний согласно 5.4.2 выполняют до начала фактического измерения вносимых потерь. Эта проверка измерения продемонстрирует, что схема испытаний применима для измерения постоянного значения вносимых потерь в пределах ±0,5 дБ в требуемой полосе частот, когда измеряется стандартное затухание.

Дополнительно анализ неопределенности измерения вносимых потерь должен учитывать следующие условия.

1) Система испытаний (например, сигнальный генератор и приемник) может быть включена в один испытательный прибор.

2) Так как излучаемые помехи окружающей среды могут значительно влиять на результаты испытаний, измерения должны быть выполнены так, чтобы минимизировать ошибки от таких внешних помех на допустимое значение. Может потребоваться использование экранированных испытательных ящиков или экранирование всей схемы испытаний. Остаточное значение, вызванное помехами, должно быть как минимум на 6 дБ ниже измеренного значения.

3) Рекомендуется использовать изолированные аттенюаторы (встраиваемые в схему выхода сигнального генератора и входа измерительного приемника) для уменьшения влияния коэффициента стоячей волны по на-

пряжению (VSWR) и резонансов на результаты испытаний. Изолированные аттенюаторы не используют при проведении калибровки оборудования с двумя портами с векторным анализатором цепей.

4) Оценка неопределенности должна быть проведена по схемам, отраженным на рисунках 8 и 9 соответственно (в зависимости от проведения испытаний со смещением или без).

5) Влияние рассогласованности соединителей, кабелей и испытательного ящика устраняется при верификационных измерениях согласно 5.4.2 и 5.4.3.

А.4 Пример расчета неопределенности измерений. Полное сопротивление

Анализ неопределенности в таблице А.2 отражает подход оценки неопределенности для метода измерения полного сопротивления, описанного в 6.2.

Таблица А.2 — Неопределенность измерения полного сопротивления (пример)

Источник неопределенности	Значение, дБ	Возможное распределение	Коэффициент	Коэффициент чувствительности	Стандартная неопределенность, %
Оборудование измерения полного сопротивления	0,66	Прямоугольное	1,732	1	0,12
Испытательное устройство	0,5	Прямоугольное	1,732	1	0,29
Воспроизводимость	0,29	Нормальное	1	1	0,29
Суммарная стандартная неопределенность u_c	—	—	—	—	0,48
Расширенная неопределенность U для $k = 2$	—	—	—	—	0,96

При условиях, приведенных ниже, расширенная неопределенность для измерения полного сопротивления на частоте 100 МГц без смещения составляет ±0,96 %.

a) Измерение проводят согласно 6.2 и приложению F.

b) ИО — дроссель типа SMD и его типовой параметр $|Z| = 1$ кОм на частоте 100 МГц.

c) Оборудование для измерения полного сопротивления откалибровано по схеме ХХ/КЗ/нагрузка.

d) Схема испытаний (испытательное устройство) проверена по схеме ХХ (испытуемый порт не подключен к земле) и КЗ (используется короткозамкнутый чип с такими же размерами, как и ИО).

А.5 Пример расчета неопределенности измерений. *S*-параметры

Анализ неопределенности, приведенный в таблице А.3, отражает подход оценки неопределенности для метода измерения S_{21} и S_{12} на частоте 100 МГц без смещения; таблица А.4 отражает пример неопределенности измерений S_{11} и S_{22}.

Таблица А.3 — Неопределенность измерений $|S_{21}|$ и $|S_{12}|$ (пример)

Источник неопределенности	Значение, дБ	Возможное распределение	Коэффициент	Коэффициент чувствительности	Стандартная неопределенность, дБ
Анализатор цепей	0,026	Прямоугольное	1,732	1	0,015
Схема измерений (калибровка)	0,498	Прямоугольное	1,732	1	0,288
Воспроизводимость	0,078	Нормальное	1	1	0,078
Суммарная стандартная неопределенность u_c	—	—	—	—	0,30
Расширенная неопределенность U для $k = 2$	—	—	—	—	0,60

Таблица А.4 — Неопределенность измерений $|S_{11}|$ и $|S_{22}|$ (пример)

Источник неопределенности	Значение, дБ	Возможное распределение	Коэффициент	Коэффициент чувствительности	Стандартная неопределенность, дБ
Анализатор цепей	0,014	Прямоугольное	1,732	1	0,008
Схема измерений (калибровка)	0,027	Прямоугольное	1,732	1	0,016
Воспроизводимость	0,010	Нормальное	1	1	0,010
Суммарная стандартная неопределенность u_c	—	—	—	—	0,021
Расширенная неопределенность U для $k = 2$	—	—	—	—	0,04

При условиях, приведенных ниже, расширенная неопределенность для измерения значений S_{21} и S_{12}, S_{11} и S_{22} составляет 0,60 и 0,04 дБ соответственно.

Примечание — Для оборудования с большими вносимыми потерями неопределенность передаточных коэффициентов S_{21} и S_{12} может возрастать значительно из-за наличия ошибок от перекрестных связей анализатора цепей.

a) Измерение проводится согласно 7.1 настоящего стандарта.

b) ИО — дроссель типа SMD с типовыми параметрами $20\log|S_{21}| = -20$ дБ и $20\log|S_{11}| = -0{,}94$ дБ на частоте 100 МГц.

c) Анализатор цепей калиброван TRL-калибровкой. Уровень сигнала составляет 0 дБм, ширина полосы пропускания по промежуточной частоте — 100 Гц.

d) Испытательное устройство собрано согласно рисунку 18.

Приложение В
(справочное)

Примеры испытательных ящиков для измерения вносимых потерь

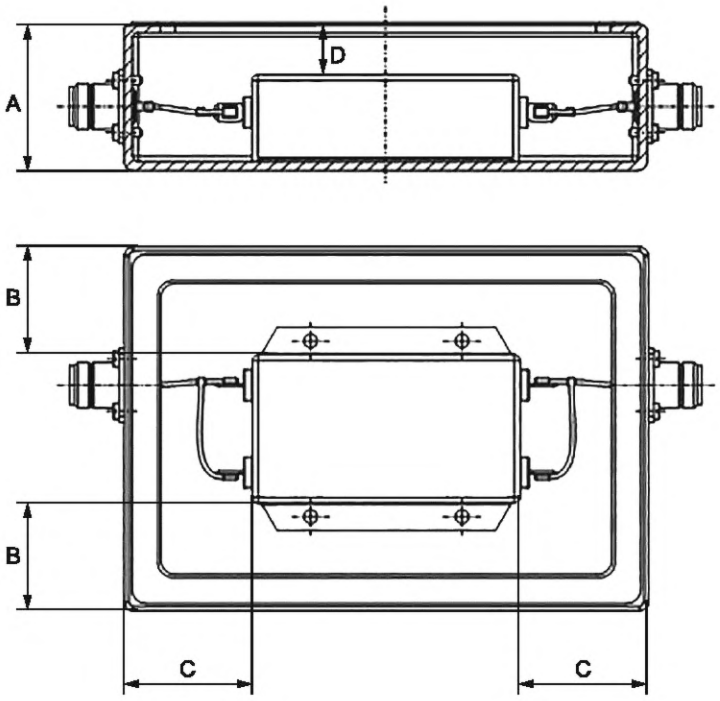
В.1 Приспособления и аппаратура фильтров

В.1.1 Общие положения

Испытуемое устройство должно быть установлено в подходящий испытательный ящик. Если пользователем, производителем или органами контроля не установлен специальный испытательный комплект для специального применения, к испытательному контейнеру устанавливаются следующие требования.

В.1.2 Конструкция испытательного ящика

Конструкция испытательного ящика отражена на рисунках В.1 и В.2. Элементы и фильтры подавления помех, которые не имеют экранов и своих собственных коаксиальных выводов на входах и выходах для измерений, помещаются в испытательный ящик, размеры которого зависят от испытуемого оборудования (например, его длина *l*, высота *h*, ширина *w*). Контейнер — это ящик с металлическим покрытием, сделанный из немагнитного металла. Ящик, который предназначен для измерения проходных конденсаторов и фильтров со встроенными выводами, должен иметь внутреннее разделение с отверстием для установки конденсаторов и фильтров. Должен существовать надежный электрический контакт между разделенными частями контейнера. Разделенные части корпуса соединяются пайкой или непрерывным сварным швом; крышка и корпус соединены вместе пружиной или винтовым соединением, и особое внимание следует уделить тому, чтобы крышка имела хороший контакт с бортами вдоль всей ее длины при измерениях проходных конденсаторов и фильтров. Коаксиальные гнезда встроены в две стенки ящика.



Примечание — A является суммарной высотой испытательного ящика. Рекомендуемые значения B, C и D приведены в В.1.3.

Рисунок В.1 — Конструкция типичного испытательного ящика для фильтров общего назначения

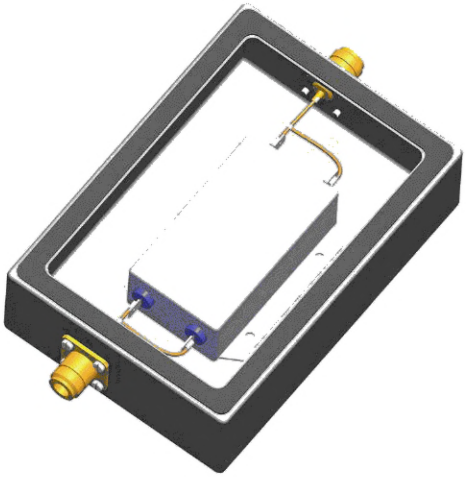


Рисунок В.2 — Трехмерное изображение типичного испытательного ящика для фильтров общего назначения

В.1.3 Установка фильтрующего электромагнитного устройства в испытательные ящики

Испытуемые фильтры устанавливают в испытательный ящик таким образом, как это предусмотрено для их обычного использования, например креплением винтовым соединением к нижней части ящика или установкой на внутреннюю экранирующую стенку ящика с обеспечением надежного радиочастотного контакта в случае проходных фильтров. Чтобы избежать ошибок от индуктивных и емкостных связей и паразитных индуктивностей и емкостей, соединяющие проводники должны быть как можно короче.

Выбранный ящик должен быть немного больше испытуемого фильтра; рекомендуемые размеры: B = 5 см, C = 5 см, D = 5 см.

В.2 Проходные компоненты

Проходные конденсаторы и проходные фильтры со встроенными выводами устанавливаются в соответствии с рисунками В.3 и В.4.

Если заземление осуществляется через провод, то применяют провод с длиной, установленной производителем, и располагают его по прямой. Другие виды выводов, соединенные с металлоконструкцией посредством провода, должны быть как можно короче, исходя из практических соображений.

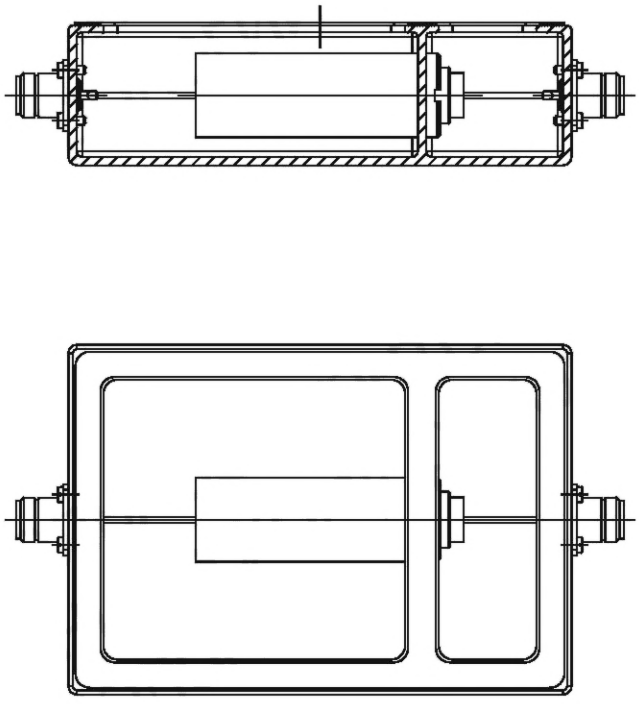


Рисунок В.3 — Конструкция типичного испытательного ящика для проходных компонентов

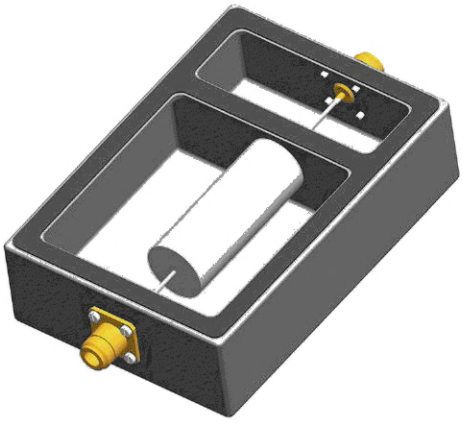


Рисунок В.4 — Трехмерное изображение типичного испытательного ящика для проходных компонентов

В.3 Одиночные компоненты

В.3.1 Конденсаторы

Конденсаторы с двумя проводными выводами монтируются в соответствии с рекомендациями производителя (например, на печатную плату). Если компоненты имеют проводные соединения, необходимо следить за тем, чтобы длина каждого провода составляла 6 мм для неизолированных проводов и 50 мм для изолированных, если не установлены другие требования к длине проводов.

В.3.2 Катушки индуктивности

Установка и присоединение катушек индуктивности такие же, как и у фильтров (см. В.1). Необходимо следить за тем, чтобы расстояние между металлическими частями испытательного ящика и катушкой индуктивности было достаточным, чтобы избежать магнитных связей. Катушки индуктивности присоединяют к выводам испытательного ящика в соответствии с рекомендациями производителя (например, путем монтажа на печатную плату). Соединительные провода должны быть прямыми и как можно короче.

В.3.3 Резисторы подавления помех, кабели и другое оборудование, используемое для подавления помех от систем зажигания транспортных средств

Установка, подключение и проведение измерений должны соответствовать требованиям CISPR 12 [1].

Приложение С
(справочное)

Методы измерений вносимых потерь в не 50-омных системах

С.1 Система 0,1 Ом/100 Ом

С.1.1 Общие положения

Эти системы используются для фильтров линий электропередачи.

Этим методом измеряются вносимые потери фильтра в системе 0,1 Ом/100 Ом (и наоборот) вместо системы 50 Ом/50 Ом (75 Ом/75 Ом). В полосе частот от 1 до 300 кГц требуются два широкополосных трансформатора (1,4:1 и 22:1 для 50-омной системы). См. рисунок С.1.

Примечание — Для некоторых фильтров, например ферритов с высокой магнитной проницаемостью, система 0,1 Ом/1 МОм предусматривает наихудшие вносимые потери.

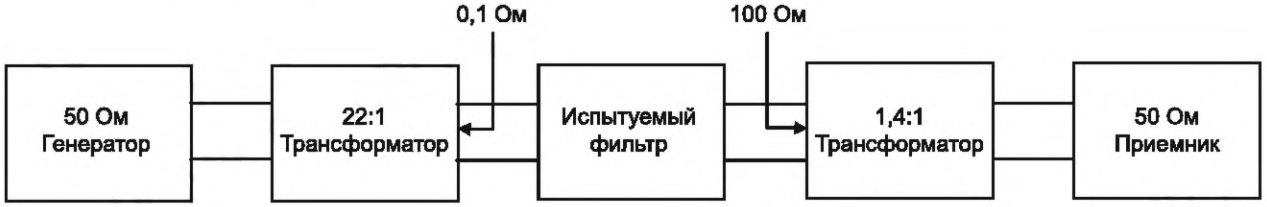


Рисунок С.1 — Испытательная схема

С.1.2 Теория метода

С помощью настоящего метода измерений с неопределенными полными сопротивлениями интерфейсов объективно устанавливается, что фильтр:

a) в заданной полосе затухания имеет хорошие и достаточно предсказуемые характеристики вносимых потерь;

b) в полосе пропускания не обнаруживает паразитные колебательные резонансы.

Метод учитывает граничные состояния, учитывающие реальные цепи, исходя из статистических данных полных сопротивлений (источников и нагрузок), установленных опытным путем.

Исходя из теоретического анализа несогласованности фильтров могут быть выделены три отдельные проблемы.

1) Паразитные резонансы в полосе пропускания и переходной полосе являются причиной двух различных механизмов, имеющих различный смысл:

i) граничные резонансы (фильтр резонирует с генератором и/или полные сопротивления нагрузки являются аналогичными, с похожими параметрами выводов). К счастью, в реальных цепях такие резонансы хорошо демпфируются, так как добротность Q эквивалентной схемы маленькая (исключения встречаются в синфазном режиме, но это может быть легко преодолено);

ii) выраженные паразитные резонансы могут быть свойственны собственным резонансам фильтра. Критические собственные резонансы могут происходить тогда и только тогда, если одно полное сопротивление одного вывода намного больше, а другое — намного меньше характеристического полного сопротивления фильтра. В этом случае собственная добротность фильтра доминирует. Этот механизм может приводить к вносимому усилению (отрицательным вносимым потерям) до 30 дБ. Это явление возникает в измерительных системах 0,1 Ом/100 Ом (и наоборот). Это может быть устранено правильным проектированием фильтра.

Примечание — Собственные резонансы возникают в различных комбинациях сопротивлений нагрузок от 0 Ом или до ∞ Ом.

2) Плохие характеристики в нижней части полосы затухания. Обычно для фильтров низких частот, таких как фильтры линии электропередач, эффект рассогласования полного сопротивления более сильный в нижней части полосы затухания. Здесь метод 0,1 Ом/100 Ом (и наоборот) определяет любой фильтр, результаты испытаний которого сильно отличаются от предполагаемого результата измерений в 50-омной системе. В этом контексте должно быть указано, что многосекционные фильтры («разделенные» фильтры) не только намного лучше при сильном рассогласовании, чем простые фильтры, но и еще намного меньше и экономичнее (подробности см. в [7]).

3) Метод измерения. Испытания проводят по схеме, показанной на рисунке С.1.

Дополнительно выполняются испытания с заменяемыми и обратными трансформаторами. Трансформаторы — широкополосные (феррит) и работают в полосе от 1 до 300 кГц. Для 75-омной системы коэффициенты трансформации — 27:1 и 1,15:1.

Если используется оборудование с достаточной чувствительностью, возможно использование схем испытаний, обеспечивающих требуемое сопротивление выводов без использования трансформаторов.

Для соответствующих фильтров с полосой частот от 1 до 100 кГц максимальные потери усиления на других частотах должны быть меньше, чем 10 дБ. В полосе частот полосы затухания вносимые потери не должны отличаться более чем на 10 дБ от заданного уровня.

Приложение D
(справочное)

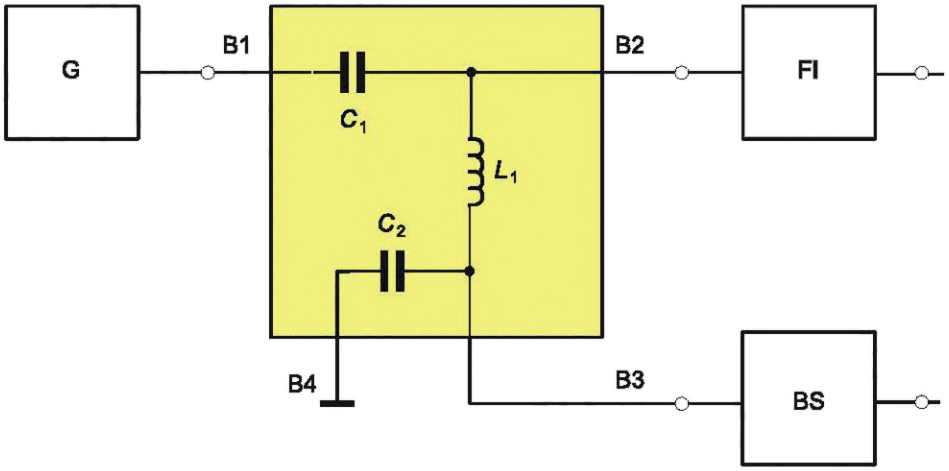
Реализация буферных цепей при измерении вносимых потерь

D.1 Общие положения

При измерении в условиях смещения требуются буферные схемы для развязки источника тока смещения от испытательной установки (генератора, приемника и испытуемого оборудования).

D.2 Схема типичной буферной цепи

Схема типичной буферной цепи отражена на рисунке D.1.



G — генератор сигналов; FI — фильтрующее устройство для обеспечения электромагнитной совместимости (ИО); BS — источник тока смещения; L_1 — развязывающая индуктивность; C_1 — конденсатор связи для RF-сигнала; C_2 — развязывающий конденсатор для тока смещения; B1 — вывод для подключения сигнального генератора/приемника; B2 — вывод для подключения ИО; B3 — вывод для подключения источника тока смещения; B4 — вывод для подключения к опорному потенциалу

Рисунок D.1 — Пример подключения буферных цепей для испытаний в условиях смещения

Конденсатор C_1 должен связывать RF-сигнал в измерительной схеме и развязывать генератор сигнала RF от схемы смещения. Он должен иметь низкое полное сопротивление в рассматриваемой полосе частот в сравнении с полным сопротивлением источника RF-сигнала и полным сопротивлением испытуемого оборудования, подключаемого к выводу B2, где должно быть рассмотрено нижнее значение.

Индуктивность L_1 должна развязывать источник тока смещения от RF измерительной схемы. Она должна иметь высокий импеданс в рассматриваемой полосе частот в сравнении с полным сопротивлением источника RF-сигнала и полным сопротивлением испытуемого оборудования, подключаемого к выводу B2, где должно быть рассмотрено большее значение. Катушка индуктивности не должна насыщаться максимальным током смещения, подаваемым к испытуемому оборудованию.

Конденсатор C_2 вместе с L_1 должен защитить источник тока смещения от RF-сигнала. Они должны иметь низкое полное сопротивление в рассматриваемой полосе частот в сравнении с полным радиочастотным сопротивлением источника тока смещения. Если возможно, следует использовать конденсатор проходного типа.

Компоненты C_1, C_2 и L_1 должны иметь собственную резонансную частоту вне рассматриваемой полосы частот и должны быть соединены с учетом принципов RF-топологии.

До проведения измерений ослабления испытуемого оборудования со смещением должно быть установлено с помощью предварительных испытаний без тока (испытуемого оборудования без смещения), что на испытания в рассматриваемой полосе частот не влияют буферные схемы и источник тока смещения.

D.3 Пример буферной схемы (от 0,1 до 30 МГц)

В таблице D.1 приведены рекомендации для буферной схемы, применяемой в полосе частот от 0,1 до 30 МГц.

Таблица D.1 — Спецификация элементов буферных схем

Буферная схема для полосы частот от 0,1 до 30 МГц		
Элемент	Тип	Значение
C_1	Конденсатор с малой индуктивностью	100 нФ
C_2	Проходной конденсатор или конденсатор с малой индуктивностью	1 мкФ
L	Дроссель на стержневом сердечнике	10 мГн

Значения L и C являются рекомендуемыми. Возможно, потребуется их адаптировать для измерений определенного испытуемого оборудования, например фильтра с очень большими вносимыми потерями, чтобы предотвратить любое влияние на результаты измерений.

Приложение Е
(справочное)

Измерение вносимых потерь. Общие пояснения

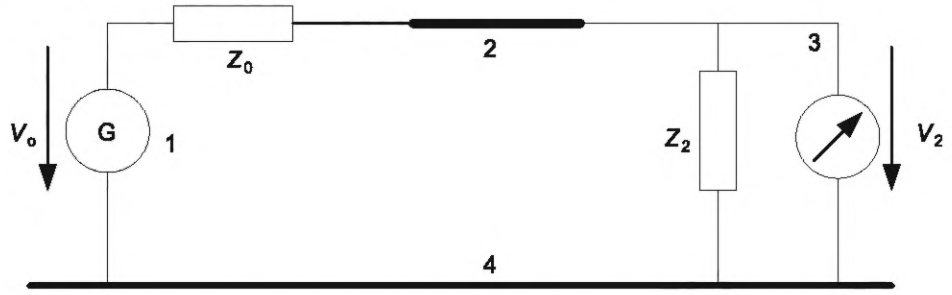
Е.1 Теория измерения вносимых потерь

Е.1.1 Общие положения

Измерение вносимых потерь является стандартным методом определения подавления радиочастотных помех фильтром или другой подавляющей схемой.

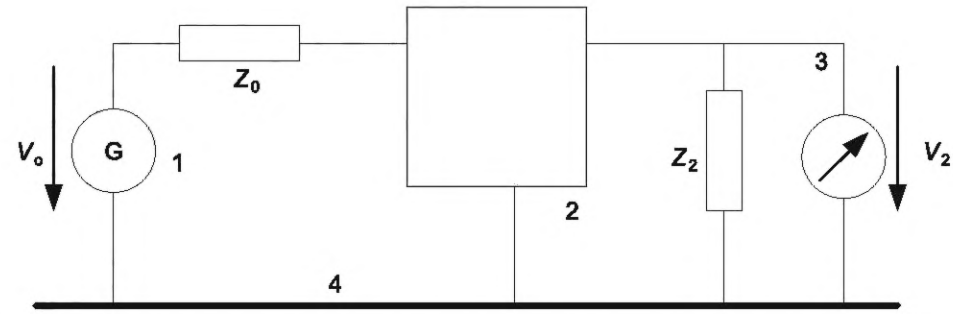
Сначала проводят контрольное измерение с коротким замыканием между генератором сигналов и приемником, напряжение V_{20} измеряют на зажимах Z_2. См. рисунок Е.1.

Затем помещают фильтр в схему испытаний (см. рисунок Е.2), второе измерение — это измерение напряжения V_2 на зажимах Z_2.



1 — генератор сигналов; 2 — короткозамкнутая цепь; 3 — измерительный приемник; 4 — опорный потенциал (металлическая пластина заземления); V_o — напряжение холостого хода генератора; V_2 — выходное напряжение; Z_0 — полное сопротивление генератора; Z_2 — полное сопротивление приемника

Рисунок Е.1 — Схема испытаний для измерения вносимых потерь, эталонное измерение (фильтр замещен короткозамкнутой цепью)



1 — генератор сигналов; 2 — испытуемое фильтрующее устройство для обеспечения электромагнитной совместимости; 3 — измерительный приемник; 4 — опорный потенциал (металлическая пластина заземления); V_o — напряжение холостого хода генератора; V_2 — выходное напряжение; Z_0 — полное сопротивление генератора; Z_2 — полное сопротивление приемника

Рисунок Е.2 — Схема испытаний измерения вносимых потерь, измерение испытуемого фильтра

Е.1.2 Определение

Вносимые потери определяются в децибелах следующей формулой:

$$a_e = 20\log\frac{V_{20}}{V_2} = 20\log\frac{V_o}{2V_2}, \quad (E.1)$$

где $Z_0 = Z_2 = 50$ Ом и, таким образом, $V_2 = \frac{V_o}{2}$.

Е.2 Измерение вносимых потерь

Е.2.1 Основной метод испытаний

Как определено в предыдущих стандартах, измерение вносимых потерь выполняют путем измерения опорного напряжения с использованием схемы испытаний, показанной на рисунке Е.1, и затем измерением, как пока-

зано на рисунке Е.2, со вставленным фильтром. Каждое измерение выполняют для полной частоты развертки или для каждой частоты в отдельности. Результаты обоих измерений преобразуются в значения вносимых потерь по вышеприведенной формуле.

Е.2.2 Упрощенный метод измерений

С помощью современных генераторов сигналов и приемников выполняется только одно измерение напряжения V_2 на зажимах Z_2 со вставленным фильтром. Основное измерение может быть пропущено, если определено, что генератор сигналов выдает постоянное напряжение V_o, даже если подключен испытуемый фильтр с низким полным сопротивлением (например, из-за больших значений емкостей в фильтре).

Если генератор сигналов достаточно стабилен, «опорное напряжение» всегда равно половине V_o и имеет постоянное значение, то можно пользоваться вышеприведенной формулой. Это позволяет проводить более быстрые и менее дорогостоящие измерения, которые также могут быть полностью автоматизированы, что необходимо для заводских испытаний.

Приложение F
(справочное)

Схема измерения полного сопротивления

F.1 Общие положения

Настоящее приложение описывает пример измерения полного сопротивления с использованием оборудования для измерения полного сопротивления.

F.2 Пример схемы

F.2.1 Двухвыводное оборудование с выводами

Для проведения испытаний используют оборудование для измерения полного сопротивления с четырьмя выводами. На рисунках F.1 и F.2 показаны схема испытаний и четырехвыводное испытательное устройство для оборудования с выводами соответственно. Эта конфигурация позволяет проводить измерения на частоте до 100 МГц.

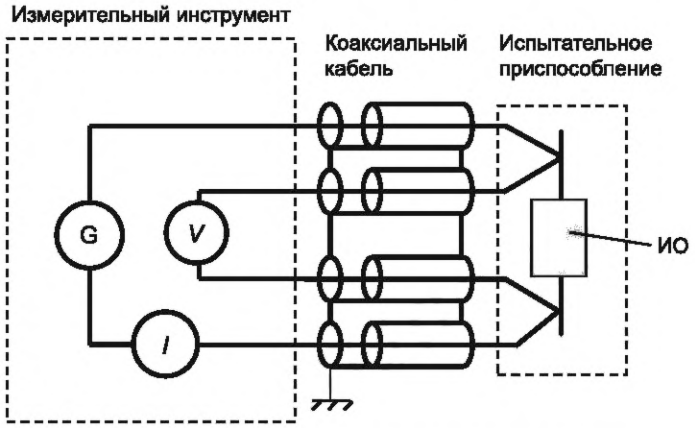
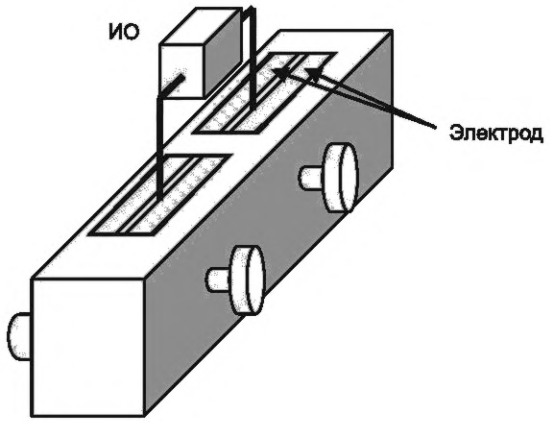


Рисунок F.1 — Схема испытаний для выводного оборудования (ИО)



Примечание — Большое ИО с выводами измеряют в полосе частот до 100 МГц. ИО фиксируется в пластинчатых электродах путем закручивания винтов. Электроды подключаются к разъемам на задней стороне.

Рисунок F.2 — Четырехвыводное испытательное устройство для оборудования с выводами (ИО)

F.2.2 Оборудование поверхностного монтажа (SMD)

F.2.2.1 Схема измерений

Для проведения испытаний используют приборы измерения полного сопротивления, как показано на рисунке F.3.

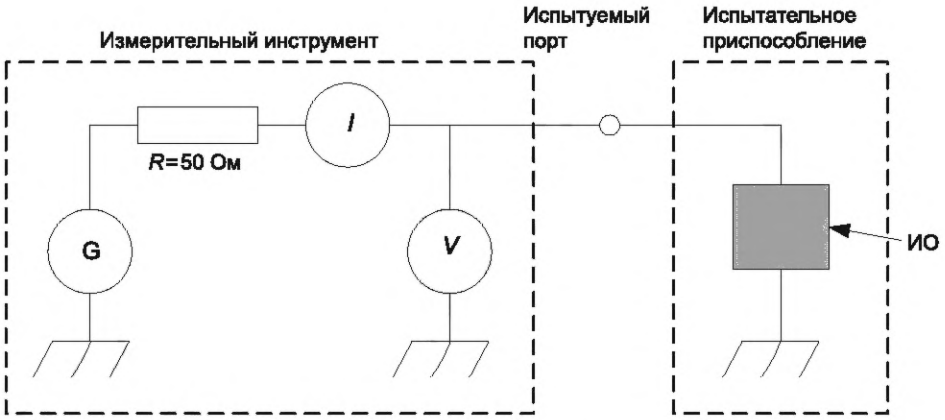


Рисунок F.3 — Схема измерений для SMD

F.2.2.2 Конфигурация измерений с зажимами

На рисунке F.4 показано зажимное приспособление для испытаний двухвыводного оборудования. Эта конфигурация позволяет проводить измерения на максимальной частоте около 2 ГГц.

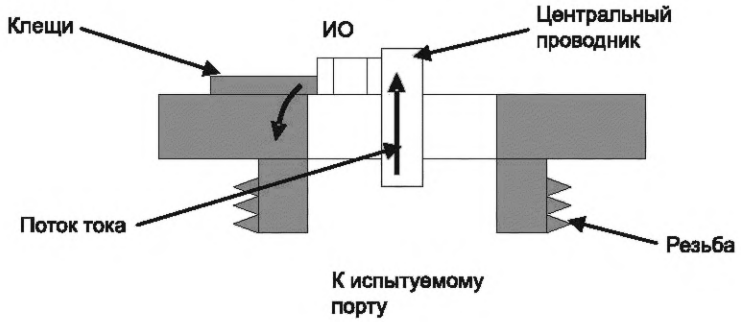


Рисунок F.4 — Испытательное устройство с зажимами

F.2.2.3 Измерение с использованием коаксиального испытательного устройства

Для измерений используется оборудование измерения полного сопротивления. На рисунке F.5 показано коаксиальное испытательное устройство для двухвыводного оборудования. Эта конфигурация позволяет проводить измерения на максимальной частоте около 3 ГГц.

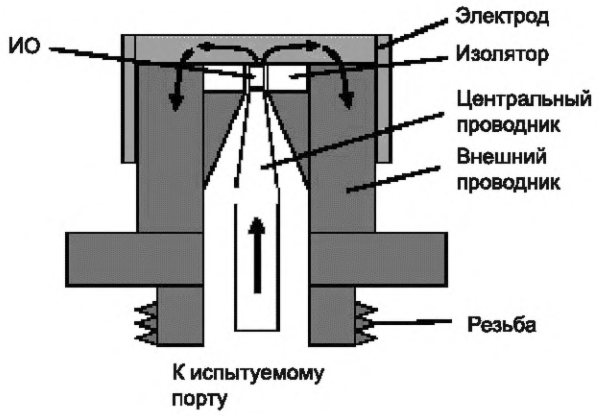


Рисунок F.5 — Коаксиальное испытательное устройство для SMD

F.2.2.4 Измерение с использованием испытательного устройства со сжатием

Для измерений используется оборудование измерения полного сопротивления. На рисунке F.6 показано испытательное устройство со сжатием для двухвыводного оборудования. Эта конфигурация позволяет проводить измерения на максимальной частоте около 3 ГГц.

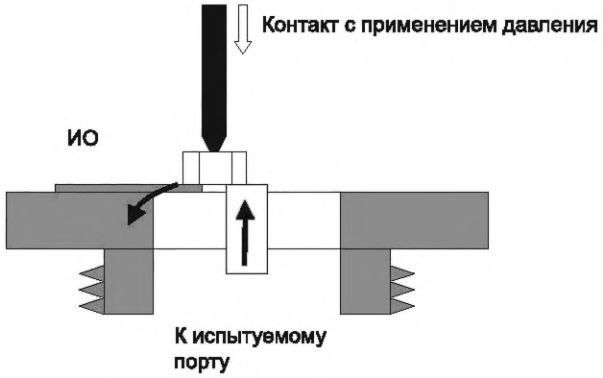
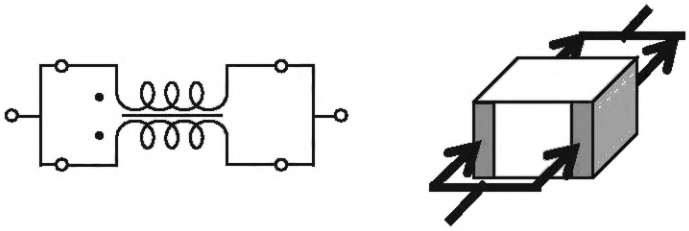


Рисунок F.6 — Испытательное устройство со сжатием для SMD

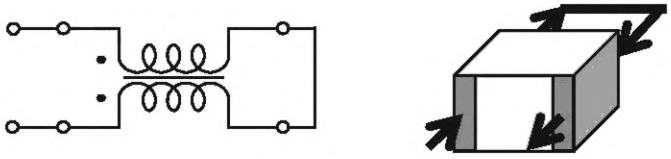
F.2.3 Синфазный дроссель (СД)

F.2.3.1 Определение

Для четырехвыводного синфазного дросселя полные сопротивления измеряют, как показано на рисунке F.7 a) и b), они называются синфазным полным сопротивлением Z_c и дифференциальным полным сопротивлением Z_d соответственно.



a) синфазное полное сопротивление Z_c



b) дифференциальное полное сопротивление Z_d

Рисунок F.7 — Соединение для измерений СД

F.2.3.2 Измерительный инструмент и испытательное устройство

Для каждого режима при измерении полного сопротивления между двумя соединенными терминалами используется оборудование измерения полного сопротивления. На рисунке F.8 показана схема измерений с SMD. Эта конфигурация позволяет проводить измерения на максимальной частоте около 3 ГГц.

При испытании ИО с выводами используется испытательное приспособление, аналогичное показанному на рисунке F.2.

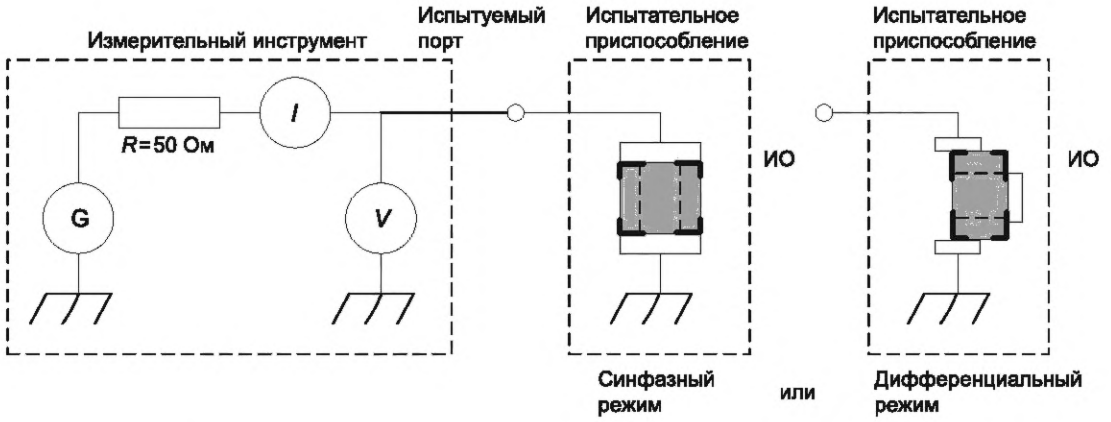


Рисунок F.8 — Испытательное устройство и схема измерений для синфазного дросселя SMD

Приложение G
(справочное)

Измерение *S*-параметров синфазного дросселя

G.1 Общие положения

На рисунке G.1 показана принципиальная схема синфазного дросселя (СД). Характеристики в синфазном и дифференциальном режимах могут быть измерены прямым измерением (см. G.2 и G.3) либо косвенным измерением с помощью *S*-параметров четырех портов (см. G.4).

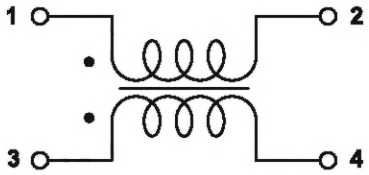


Рисунок G.1 — Синфазный дроссель

G.2 Схема измерений характеристик в синфазном режиме

G.2.1 Общие положения

Входные/выходные клеммы СД соединены, как показано на рисунке G.2, для формирования оборудования с двумя портами.

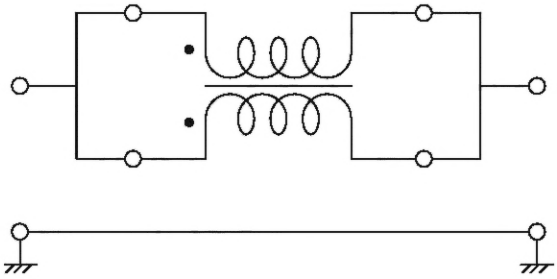
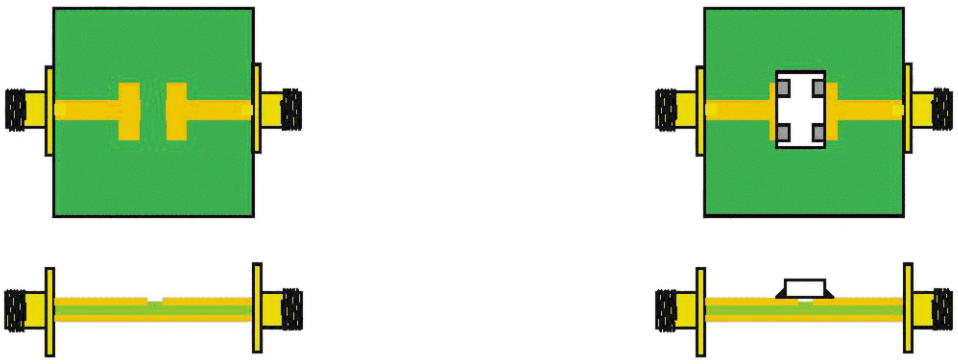


Рисунок G.2 — Схема измерения характеристик в синфазном режиме

G.2.2 Испытательное устройство для SMD

Пример испытательного устройства показан на рисунке G.3.



a) только испытательное устройство

b) испытательное устройство со встроенным СД

Рисунок G.3 — Испытательное устройство для SMD

G.2.3 Испытательное устройство для оборудования с выводами

Пример испытательного устройства показан на рисунке G.4.

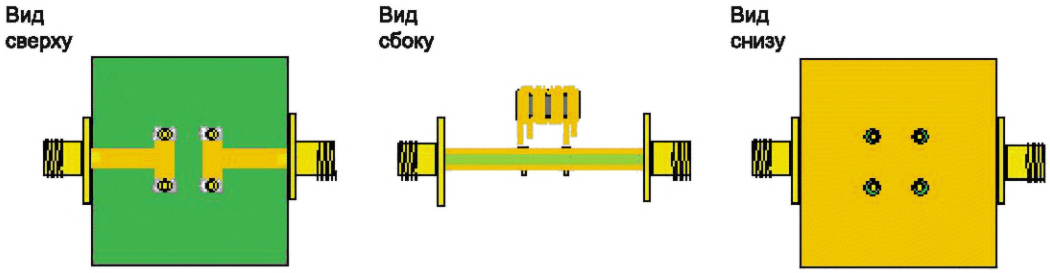


Рисунок G.4 — Испытательное устройство для оборудования с выводами

G.3 Схема измерений характеристик в дифференциальном режиме

G.3.1 Общие положения

Одна из входных/выходных клемм СД заземлена, как показано на рисунке G.5, для формирования оборудования с двумя портами.

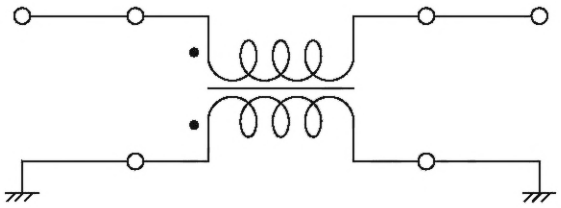


Рисунок G.5 — Схема измерений характеристик в дифференциальном режиме

G.3.2 Испытательное устройство для SMD

Пример испытательного устройства показан на рисунке G.6.



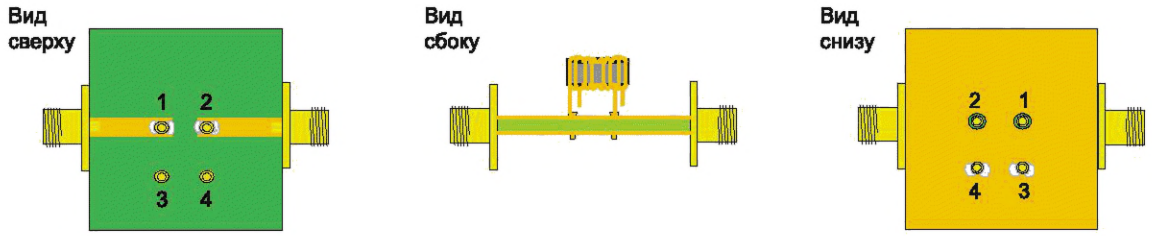
a) только испытательное устройство

b) испытательное устройство со встроенным СД

Рисунок G.6 — Испытательное устройство для SMD

G.3.3 Испытательное устройство для оборудования с выводами

Пример испытательного устройства показан на рисунке G.7.



1 и 2 — подсоединены к линии; 3 и 4 — подсоединены к земле

Рисунок G.7 — Испытательное устройство для оборудования с выводами

G.4 Измерения *S*-параметров с четырьмя портами

G.4.1 Общие положения

Исходя из того, что СД имеет четыре вывода, характеристики могут быть оценены с помощью *S*-параметров четырех портов, как показано на рисунке G.8.

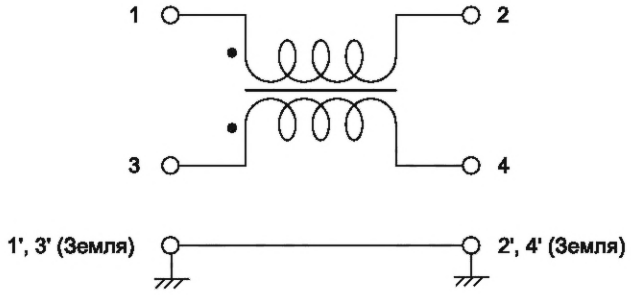
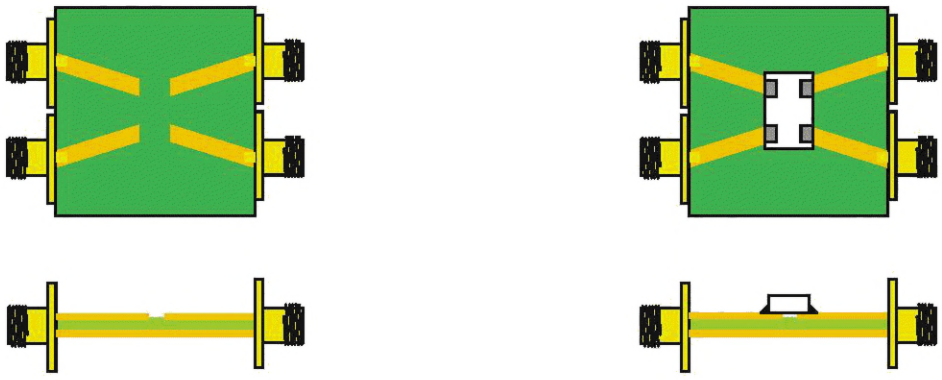


Рисунок G.8 — Схема измерения характеристик *S*-параметров четырех портов

G.4.2 Испытательное устройство для SMD

Пример испытательного устройства показан на рисунке G.9.



a) только испытательное устройство b) испытательное устройство со встроенным SMD

Рисунок G.9 — Испытательное устройство для *S*-параметров четырех портов SMD

G.4.3 Испытательное устройство для оборудования с выводами

Пример испытательного устройства показан на рисунке G.10.

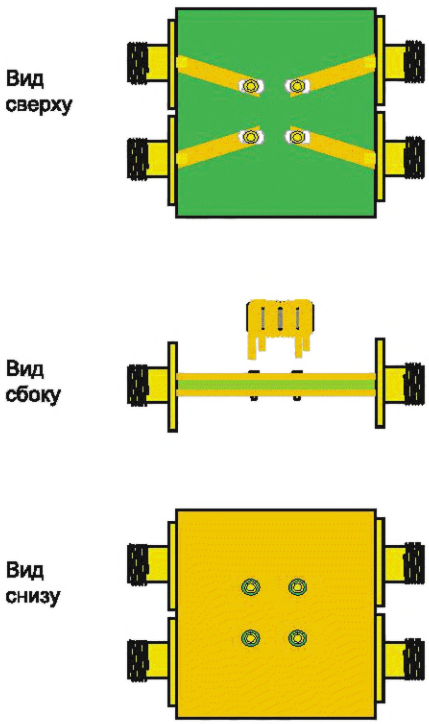


Рисунок G.10 — Испытательное устройство для *S*-параметров четырех портов оборудования с выводами

Приложение Н
(справочное)

Схема измерений *S*-параметров ИО без проволочных выводов

Н.1 Общие положения

Метод измерения, описанный в настоящем приложении, может быть применен к ИО без проволочных выводов. Например, ферритовые сердечники и ферритовые кольца для подавления токов синфазных помех в кабелях.

Н.2 Метод измерения

S-параметры ИО без выводов, таких как ферритовые сердечники и ферритовые кольца, измеряются с использованием матричного векторного анализатора цепей (VNA) с испытательным устройством, показанным на рисунке Н.1. Металлический проводник над пластиной заземления помещается в отверстие ИО с помощью прокладки. Прокладка должна быть сделана из материала с низкой диэлектрической проницаемостью, например пенополистирола. Особое внимание следует уделить центрированию проводника в отверстии. Проводник в отверстии должен быть расположен параллельно пластине заземления.

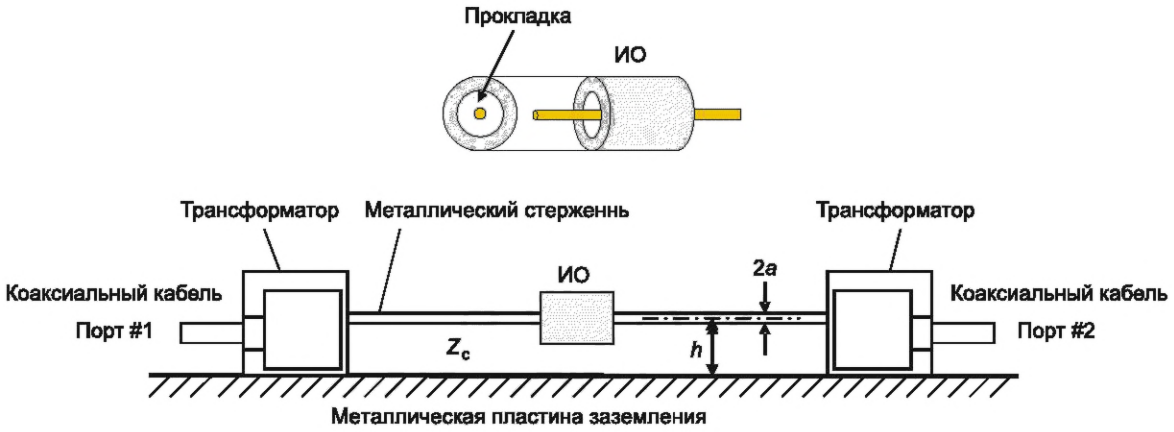


Рисунок Н.1 — Измерение *S*-параметров ИО без выводов

Характеристическое полное сопротивление линии передачи Z_c, в Ом, определяется как:

$$Z_c = 60 \cos h^{-1}\left(\frac{h}{a}\right), \quad \text{(Н.1)}$$

где h и a обозначают высоту и радиус металлического стержня. Предпочтительно Z_c = 270 Ом.

См. [8] и CISPR 16-3:2010 (пункт 4.9.2.1) [2].

Н.3 Калибровка

Для устранения эффектов трансформации должна быть выполнена калибровка. С этим испытательным устройством должна быть выполнена калибровка TRL (Сквозной/Отраженный/Линия) [6]. Как показано на рисунке Н.2, для сквозного и линейного измерения в калибровочной процедуре TRL требуются два металлических стержня различной длины.

Примечание — Для проверки пределов измеряемых вносимых потерь испытательного устройства должно быть измерено S_{21} между трансформаторами с позиции отражения, как показано на рисунке Н.2.

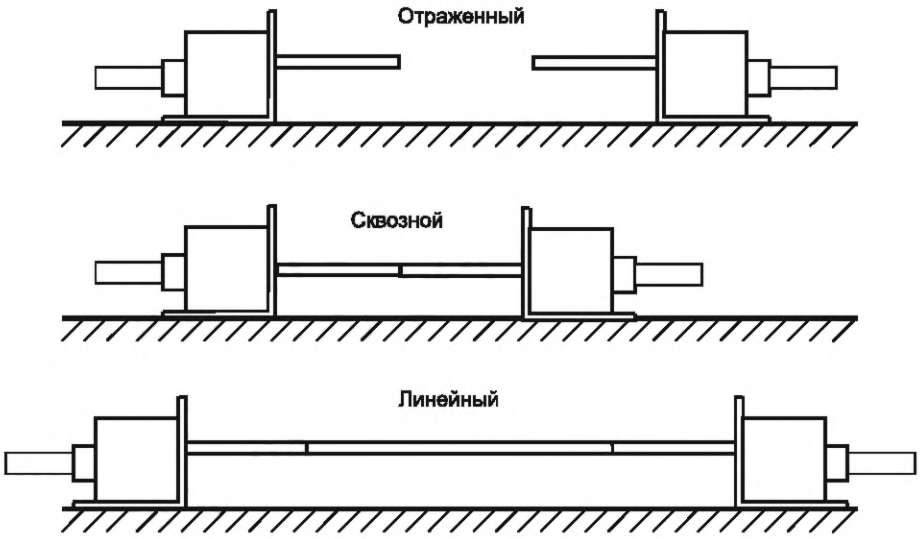


Рисунок Н.2 — Процедура для TRL-калибровки

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC 60050-161:1990	MOD	ГОСТ 30372—2017 (IEC 60050-161:1990) «Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения»

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта:

- MOD — модифицированный стандарт.

Библиография

[1] CISPR 12:2007 — Vehicles, boats and internal combustion engines — Radio disturbance characteristics — Limits and methods of measurement for the protection of off-board receivers (Транспортные средства, суда и машины, работающие от двигателей внутреннего сгорания. Характеристики радиопомех. Нормы и методы измерений для защиты небортовых приемников)

[2] CISPR/TR 16-3:2010 — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 3: CISPR technical reports (Технические условия на оборудование и методы измерений радиопомех и помехоустойчивости. Часть 3. Технические отчеты CISPR)

[3] CISPR/TR 16-4-1 — Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods — Part 4-1: Uncertainties, statistics and limit modelling — Uncertainties in standardized EMC tests (Технические условия на оборудование и методы измерений радиопомех и помехоустойчивости. Часть 4-1. Погрешности, статистика и моделирование пределов. Погрешности при стандартизованных испытаниях электромагнитной совместимости (ЭМС))

[4] ISO/IEC Guide 98-3 — Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) (Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995))

[5] BOCKELMAN D.E. and EISENSTADT W.R. — Combined Differential and Common-Mode Scattering Parameters: Theory and Simulation, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, July 1995, vol. 43, No. 7, p. 1530—1539 (Параметры матрицы рассеяния в дифференциальном и общем режимах: Теория и моделирование)

[6] ENGEN G.F. and HOER C.A. — Thru-Reflect-Line: An Improved Techniques for Calibrating the Dual Six-Port Automatic Network Analyzer, IEEE Transactions on Micro-wave Theory and Techniques, December 1979, vol. MTT-27, No. 12, p. 987—993 (Сквозной/Отраженный/Линейный: Улучшенные методы калибровки парных автоматических анализаторов цепей с шестью портами)

[7] SCHLICKE H.M. — Assuredly Effective Filters, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, August 1976, vol. EMC-18, No. 3, p. 106—110 (Фильтры с высокой эффективностью)

[8] URABE J., FUJII K. et al. — A method for measuring the characteristics of an EMI suppression ferrite core, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, November 2006, vol. 48, No. 4, p. 774—780 (Метод измерения характеристик подавления электромагнитных помех ферритовым сердечником)

УДК 621.391.827:006.354 МКС 33.100.01 IDT

Ключевые слова: радиопомехи, пассивные фильтрующие электромагнитные устройства, вносимые потери, полное сопротивление, *S*-параметры, нормы, методы измерений

Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *С.И. Фирсова*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 02.09.2024. Подписано в печать 17.09.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 6,05. Уч.-изд. л. 5,45.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

Поправка к ГОСТ CISPR 17—2022 Методы измерения характеристик подавления пассивных фильтрующих устройств для обеспечения электромагнитной совместимости

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан

(ИУС № 10 2025 г.)

gost.e-ecolog.ru