


СОГЛАСОВАНО

Первый заместитель генерального
директора - заместитель по научной
работе ФГУП «ВНИИФТРИ»



 _____ А. Н. Щипунов

 _____ 2022 г:

Государственная система обеспечения единства измерений
МОДУЛИ РАСШИРЕНИЯ ЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА

TFE1854

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 651-22-047

р.п. Менделеево
2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	3
2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	4
3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	6
4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ	6
5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ	7
6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	8
7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	9
8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	10
9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	13
10 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ.....	19
11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.....	22
ПРИЛОЖЕНИЕ А (СПРАВОЧНОЕ) СХЕМЫ ИЗМЕРЕНИЙ	23

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика устанавливает методы и средства первичной и периодической поверки модулей расширения частотного диапазона TFE1854 производства ООО «ПЛАНАР» г. Челябинск (далее – модули).

1.2 Первичной поверке подлежат модули до ввода в эксплуатацию и после ремонта. Периодической поверке подлежат модули, находящиеся в эксплуатации и на хранении.

1.3 Модули в комплекте с анализаторами цепей векторными С4209, С4409, С4220 и С4420 (далее - анализаторы) предназначены для измерений комплексных коэффициентов передачи и отражения многополюсников.

1.4 Модули представляют собой преобразователи частоты, которые функционируют совместно с анализатором. Автономной работы модулей не предусмотрено, без подключения к анализатору они не могут быть использованы для проведения измерений.

Управление модулями осуществляется программным обеспечением анализатора.

ВНИМАНИЕ! Управление и питание модулей осуществляется непосредственно с анализатора. Количество одновременно работающих модулей определяется количеством портов анализатора.

В зависимости от используемого анализатора выделяют следующие модификации.

Таблица 1 – Модификации

Модификация	Анализатор	Модуль
С4209 / TFE1854	С4209 (2 порта, 9 ГГц)	TFE1854
С4409 / TFE1854	С4409 (4 порта, 9 ГГц)	
С4220 / TFE1854	С4220 (2 порта, 20 ГГц)	
С4420 / TFE1854	С4420 (4 порта, 20 ГГц)	

Примечания:

- 1 Модификации отражают совместную работу анализаторов цепей векторных С4209, С4409, С4220, С4420 и модулей расширения частотного диапазона TFE1854.
- 2 Максимальное количество работающих модулей определяется количеством измерительных портов анализатора, т.е. двухпортовые приборы могут одновременно работать с одним или двумя модулями, четырехпортовые могут управлять одним, двумя, тремя или четырьмя модулями.
- 3 Анализаторы цепей векторные С4209, С4409, С4220, С4420 производства ООО ПЛАНАР - утвержденного типа (рег. № 5960-16).

Если модуль (модули) поверяются в комплекте с анализатором, то необходимо чтобы анализатор предварительно прошел поверку в сокращенном объеме согласно его действующей методики. Сокращенный объем предполагает, что требуется выполнить все пункты методики поверки анализатора, кроме определения погрешности измерений коэффициентов передачи и отражения.

1.5 Поверка модулей может осуществляться только аккредитованным на проведение поверки в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации лицом, в соответствии с его областью аккредитации.

1.6 При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость поверяемых модулей к государственным первичным эталонам единиц величин:

- ГЭТ 1-2018. «Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени» в соответствии с Приказом Росстандарта № 1621 от

31.07.2018 Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты;

- ГЭТ 26-2010 «Государственный первичный эталон единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах в диапазоне частот от 0,03 до 37,50 ГГц» в соответствии с Приказом Росстандарта № 3461 от 30.12.2019 Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 9 кГц до 37,5 ГГц;

- ГЭТ 167-2017 «Государственный первичный эталон единицы мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,50 до 78,33 ГГц» в соответствии с Приказом Росстандарта № 2839 от 29.12.2018 Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,50 до 78,33 ГГц;

- ГЭТ 193-2011 «Государственный первичный эталон единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 до 178 ГГц» в соответствии с Приказом Росстандарта № 3383 от 30.12.2019 Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений ослабления напряжения постоянного тока и электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 20 Гц до 178,4 ГГц;

- ГЭТ 75-2017 «Государственный первичный эталон единицы волнового сопротивления в коаксиальных волноводах» в соответствии с ГОСТ Р 8.813-2013 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений волнового сопротивления, комплексных коэффициентов отражения и передачи в коаксиальных волноводах в диапазоне частот от 0,01 до 65,00 ГГц.

1.7 Перед проведением поверки необходимо ознакомиться с указаниями, изложенными в руководстве по эксплуатации на модули.

После проведения поверки необходимо выполнить визуальный контроль чистоты и целостности всех соединителей, расположенных на передней панели модулей и анализатора, в комплекте с которым они работают. При обнаружении посторонних частиц провести чистку соединителей.

1.8 Интервал между поверками 1 год.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки следует выполнить операции, указанные в таблице 2 или в таблице 3.

2.2 Одновременно может поверяться один, два или четыре модуля.

2.3 При измерении модули подключаются к анализатору. Если модули не укомплектованы анализатором, то следует использовать анализатор, приведенный в пункте 5.

Таблица 2 – Операции при поверке одного модуля

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	да	да	7
Проверка присоединительных размеров	да	да	8.6

Продолжение таблицы 2

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Определение метрологических характеристик			
Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	да	да	9.1
Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности	да	да	9.2
Определение среднего квадратического отклонения трассы	да	да	9.3
Определение нескорректированных параметров	да	да	9.5
Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения	да	да	9.6
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	10
<p>Примечания:</p> <p>1 Определение погрешности измерений коэффициента отражения выполняется методом сравнения (Метод 1 по 9.6).</p> <p>2 Нескорректированные параметры (направленность и согласование источника) определяются по результатам проведения полной однопортовой «калибровки»¹⁾.</p>			

Таблица 3 – Операции при поверке двух или четырех модулей

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	да	да	7
Проверка присоединительных размеров	да	да	8.6
Определение метрологических характеристик			
Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	да	да	9.1

¹⁾ Калибровка – процесс, в результате которого определяются комплексные оценки ошибок в соответствии с моделью анализатора цепей векторного (см. МИ 3411-2013). Здесь и далее по тексту термин калибровка будет отображаться в кавычках, чтобы не путать с термином калибровка средств измерений, указанным в Федеральном законе от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

Продолжение таблицы 3

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности	да	да	9.2
Определение среднего квадратического отклонения трассы	да	да	9.3
Проверка уровня собственного шума приёмников	да	да	9.4
Определение нескорректированных параметров	да	да	9.5
Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения	да	да	9.6
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	10
<p>П р и м е ч а н и я :</p> <p>1 Определение погрешности измерений коэффициентов передачи и отражения выполняется двумя методами – методом сравнения (Метод 1 по 9.6) и прямым (Метод 2 по 9.6).</p> <p>2 Нескорректированные параметры (направленность, согласование источника и согласование нагрузки) определяются по результатам проведения полной двухпортовой «калибровки».</p>			

2.4 При получении отрицательных результатов по любому пункту таблицы 2 или 3 поверяемый модуль (модули) бракуется и направляется в ремонт.

2.5 На основании письменного заявления владельца модуля (модулей) допускается проводить периодическую поверку для меньшего числа измеряемых величин и поддиапазонов (где применимо), которые используются при эксплуатации по соответствующим пунктам настоящей методики поверки. Данные ограничения должны быть зафиксированы при оформлении результатов поверки.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С (К) от плюс 15 до плюс 25 (от 288 до 298);
- относительная влажность окружающего воздуха, % не более 80;
- атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.) от 84,0 до 106,7 (от 630 до 800).

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 К проведению поверки допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности на рабочем месте, освоившие работу с модулями и применяемыми средствами поверки и изучившие настоящую методику.

4.2 Поверка осуществляется одним специалистом.

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 Рекомендуемые средства поверки приведены в таблице 4.

5.2 Поверка может быть выполнена в тракте 1,85/0,8 мм (от 18 ГГц до 54 ГГц) или в тракте 2,4/1,04 мм (от 18 ГГц до 50 ГГц).

Таблица 4 – Перечень средств поверки

Номер пункта методики поверки	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
Основные средства поверки	
9.1	Частотомер универсальный CNT-90XL, опция 60G (рег. № 41567-09)*: пределы относительной погрешности по частоте за один год $\pm 5 \cdot 10^{-7}$.
9.2	Ваттметр поглощаемой мощности NRP67T (рег. № 69958-17): пределы допускаемой относительной погрешности измерений мощности $\pm 10\%$.
9.6** (Метод 1)	Набор мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z218 (рег. № 56592-14): пределы допускаемой погрешности определения действительных значений: модуля коэффициента отражения от $\pm 0,010$ до $\pm 0,040$; фазы коэффициента отражения от $\pm 1,5^\circ$ до $\pm 3,0^\circ$; модуля коэффициента передачи от $\pm 0,05$ до $\pm 0,12$ дБ; фазы коэффициента передачи от $\pm 0,7^\circ$ до $\pm 2,5^\circ$. Набор мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z224 (рег. № 52112-12): пределы допускаемой погрешности определения действительных значений: модуля коэффициента отражения от $\pm 0,005$ до $\pm 0,020$; фазы коэффициента отражения от $\pm 0,8^\circ$ до $\pm 2,0^\circ$; модуля коэффициента передачи от $\pm 0,05$ до $\pm 0,10$ дБ; фазы коэффициента передачи от $\pm 0,5^\circ$ до $\pm 2,0^\circ$.
9.6 (Метод 2)	Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85058V (рег. № 53567-13): пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента передачи аттенюаторов $\pm 0,2$ дБ и $\pm 2^\circ$; пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом от $\pm 0,030$ до $\pm 0,060$ в линейном масштабе и от $\pm 5^\circ$ до $\pm 40^\circ$. Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85057B (рег. № 53567-13): пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента передачи аттенюаторов $\pm 0,2$ дБ и $\pm 2^\circ$; пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом от $\pm 0,030$ до $\pm 0,060$ в линейном масштабе и от $\pm 5^\circ$ до $\pm 40^\circ$.
Вспомогательные средства поверки	
8.4, 8.6 - 9.6	Анализатор цепей векторный С4209 (С4409, С4220 или С4420) (рег. № 65960-16): возможность подключения и управления поверяемыми модулями.
8.6	Комплект измерителей присоединительных размеров КИПР-05Р-05 (рег. № 68805-17): пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений присоединительных размеров $\pm 0,01$ мм.
9.2	Переход коаксиальный 1,85 мм или 2,4 мм, розетка-розетка

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Сверить комплектность и внешний вид каждого поверяемого модуля с данными, приведёнными в эксплуатационной документации на него.

7.2 Провести визуальный контроль чистоты коаксиальных соединителей, расположенных на передней и задней панелях модулей. В случае обнаружения посторонних частиц провести чистку соединителей (см. приложение А).



Проверке подлежат соединители:
PORT, IF REF, IF TEST, RF IN, LO IN

Рисунок 1 – Внешний вид модулей

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРИМЕНЯТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПРЕДМЕТЫ ДЛЯ ЧИСТКИ СОЕДИНИТЕЛЕЙ.

7.3 Проверить отсутствие механических повреждений (вмятин, забоин, отслаивания покрытия и т. д.) на контактных и токонесущих поверхностях соединителя измерительного порта.

7.4 Проверить отсутствие глубоких царапин и вмятин на корпусе модулей, шумов внутри корпуса, обусловленных наличием незакреплённых деталей, следов коррозии металлических деталей и следов воздействия жидкостей или агрессивных паров, целостность лакокрасочных покрытий, сохранность маркировки.

Примечание - К механическим повреждениям относятся глубокие царапины, деформации на рабочих поверхностях центрального или внешнего проводников соединителей, вмятины на корпусе, а также другие повреждения, непосредственно влияющие на технические характеристики.

7.5 Провести визуальный контроль целостности кабелей RF, LO, IF и управления.

7.6 Запись результатов внешнего осмотра допускается проводить с помощью программного обеспечения VNA Performance Test в пункте «Внешний осмотр». Для этого необходимо заполнить таблицу, указанную в программном обеспечении. Порядок работы с программным обеспечением описан в пункте 8.4.

7.7 Результаты проверки считать положительными, если:

- комплектность соответствует приведённой в эксплуатационной документации модулей;

- отсутствуют механические повреждения соединителей;
- отсутствуют глубокие царапины и вмятины на корпусе каждого модуля;
- отсутствуют шумы внутри корпуса, обусловленные наличием незакреплённых деталей;
- отсутствуют следы коррозии металлических деталей и следы воздействия жидкостей или агрессивных паров;
- лакокрасочные покрытия не повреждены;
- маркировка разборчива;
- кабели RF, LO, IF и управления не имеют повреждений.

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Подготовка поверяемого средства измерений

- 8.1.1 Убедиться в выполнении условий проведения поверки.
- 8.1.2 Выдержать модули в выключенном состоянии в условиях проведения поверки не менее двух часов, если они находились в отличных от них условиях.
- 8.1.3 Подключить модули к анализатору в соответствии с рисунком 2.
- 8.1.4 Для установления рабочего режима выдержать модули, подключенные к анализатору, во включенном состоянии не менее 60 минут.

8.2 Подготовка мер

8.2.1 Провести визуальный контроль чистоты и целостности соединителей используемых мер. Выполнить проверку присоединительных размеров и проверку качества их соединителей. Контроль и измерения следует проводить в соответствии с рекомендациями, приведёнными в МИ 3411-2013.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ДАЛЬНЕЙШЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ:

- УСТРОЙСТВ, У КОТОРЫХ БЫЛИ ОБНАРУЖЕНЫ МЕХАНИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ СОЕДИНИТЕЛЕЙ ИЛИ ПОСТОРОННИЕ ЧАСТИЦЫ, КОТОРЫЕ НЕ УДАЛЯЮТСЯ В ПРОЦЕССЕ ЧИСТКИ;

- УСТРОЙСТВ, У СОЕДИНИТЕЛЕЙ КОТОРЫХ ВЫЯВЛЕНЫ НЕСООТВЕТСТВИЯ ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ.

НЕВЫПОЛНЕНИЕ ЭТИХ ТРЕБОВАНИЙ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ПОВРЕЖДЕНИЯМ СОЕДИНИТЕЛЕЙ УСТРОЙСТВ.

8.2.2 Если набор калибровочных мер имеет отличные от указанных в таблице 4 значения обеспечиваемых эффективных параметров, то следует вычислить пределы погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения (см. приложение А).

8.3 Подготовка средств поверки

8.3.1 Выдержать средства поверки во включённом состоянии не менее времени, указанного в их руководствах по эксплуатации.

8.4 Возможности автоматизации операций поверки

8.4.1 Поверка может выполняться в автоматическом режиме с помощью программного обеспечения VNA Performance Test или без использования автоматизации – вручную (см. таблицу 5). Описание всех операций в настоящей методике ориентировано на работу в автоматическом режиме. Ручной режим измерений изложен в приложение А.

Таблица 5 - Режимы измерений

Проверка в VNA Performance Test	Номер пункта	Режим измерений
Внешний осмотр	7	Автоматический, ручной
Проверка присоединительных размеров	8.6	Автоматический, ручной
Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности	9.2	Автоматический, ручной
Определение среднего квадратического отклонения трассы	9.3	Автоматический, ручной
Определение уровня собственного шума приёмников	9.4	Автоматический, ручной
Определение нескорректированных параметров	9.5	Автоматический, ручной
Определение погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения, нескорректированных параметров и уровня собственного шума приёмников	9.6 (Метод 1)	Автоматический
Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения и нескорректированных параметров	9.6 (Метод 1)	Автоматический
Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения	9.6 (Метод 2)	Автоматический, ручной
Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи	9.6 (Метод 2)	Автоматический, ручной

8.4.2 Программное обеспечение VNA Performance Test содержит все необходимые инструкции и схемы измерений. Программа автоматически устанавливает параметры, такие как частотный диапазон, количество точек по частоте, уровень выходной мощности, полосу пропускания фильтра промежуточной частоты, в зависимости от проводимой проверки. Запрещается менять установленные параметры.

VNA Performance Test отображает результаты измерений в виде таблиц и графиков. Все графики поддерживают возможность масштабирования. Для их анализа удобно использовать реализованные в программе маркеры. Полученные результаты могут быть сохранены в файл и (или) напечатаны в форме протокола.

Программное обеспечение поддерживает несколько методов определения погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения. Перед началом измерений следует ознакомиться с пунктом 9.6 для выбора нужного метода в зависимости от применяемых средств поверки.

Заключение о соответствии формируется автоматически по результатам проведения каждой операции, предусмотренной настоящей методикой. В пункте 9.6 программное обеспечение позволяет учитывать погрешность средств поверки, включая используемые наборы мер.

8.4.3 Для запуска VNA Performance Test необходимо выполнить следующие действия:

- подключить модули к анализатору (см. рисунок 2);
- подключить анализатор к персональному компьютеру (ПК) с помощью кабеля USB;
- установить программное обеспечение анализатора совместно с драйвером, если они не были ранее установлены, настроить Socket сервер;

ВНИМАНИЕ! Для разрешения удаленного управления анализатором по протоколу

TCP/IP Socket следует выбрать в меню программного обеспечения Socket сервер Вкл.

- запустить программное обеспечение анализатора;
- установить программное обеспечение VNA Performance Test, если оно не было ранее установлено;
- запустить программное обеспечение VNA Performance Test, программа должна автоматически определить анализатор с модулями; при необходимости, нажать кнопку «Обновить»;
- ввести имя файла протокола (при необходимости) и персональные данные поверителя;
- выбрать из списка требуемую модификацию и нажать кнопку «Выполнить»;
- в появившемся диалоговом окне выбрать метод в зависимости от применяемых средств поверки (см. пункт 9.6);
- на главной странице проверить тип и номер модуля и анализатора;
- проверить параметры набора калибровочных мер (пользовательского набора);
- выполнить указанные пункты поверки;
- сохранить результаты измерений в формате PDF или распечатать.

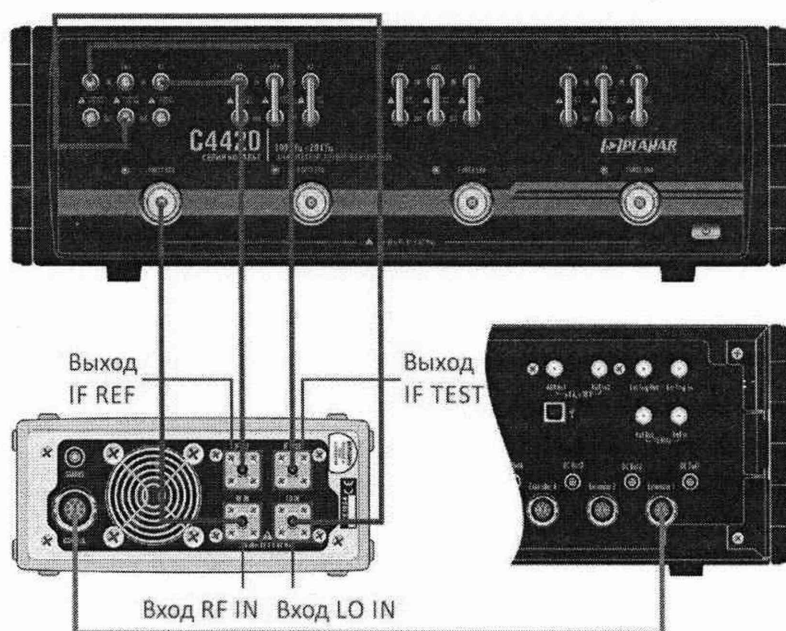


Рисунок 2 – Пример подключения модуля к анализатору

П р и м е ч а н и е – Если появится сообщение об ошибке, необходимо закрыть программное обеспечение, проверить надёжность подключения кабеля USB и правильность установки драйвера, выключить и через одну минуту включить питание анализатора, обновить информацию на стартовой странице VNA Performance Test.

8.4.4 Ручной метод может быть использован при поверке модулей с учетом пункта 2.5. Описание измерений приведено в приложении А.

В этом случае поверитель может самостоятельно назначать контролируемые точки или диапазоны, не противоречащие указанным в настоящем документе.

Фиксация результатов измерений производится согласно требованиям и в форме, предусмотренной системой качества организации, выполняющей поверку.

Результаты поверки считают положительными, если определённые значения параметров модулей соответствуют установленным на них требованиям. В противном случае модуль (модули) бракуют.

Таблица 6 – Схема соединения

Модуль	Анализатор
RF IN	PORT 1 (PORT 2, PORT 3, PORT 4)
LO IN	LO 1 OUT (LO 2 OUT, LO 3 OUT, LO 4 OUT)
IF REF	R1 IN (R2 IN, R3 IN, R4 IN)
IF TEST	T1 IN (T2 IN, T3 IN, T4 IN)
CONTROL	Extender

8.5 Правила подключения устройств СВЧ

Для улучшения повторяемости измерений рекомендуется проводить подключение устройств в указанной последовательности:

- аккуратно совместить соединители устройств;
- удерживая подключаемое устройство, накрутить гайку соединителя «вилка» таким образом, чтобы центральный проводник соединителя «вилка» вошёл в центральный проводник соединителя «розетка»;

ВНИМАНИЕ! ПРИСОЕДИНЕНИЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ТОЛЬКО ВРАЩЕНИЕМ ГАЙКИ СОЕДИНИТЕЛЯ «ВИЛКА».

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ВРАЩАТЬ КОРПУС ПОДКЛЮЧАЕМОГО УСТРОЙСТВА.

- окончательное затягивание гайки соединителя «вилка» проводить с помощью ключа тарированного, при этом следует использовать ключ гаечный (поддерживающий) для предотвращения устройств от поворота.

Отключение соединителей проводится в обратной последовательности. При ослаблении и раскручивании гайки соединителя «вилка» следует удерживать отключаемое устройство во избежание механического повреждения центральных проводников.

8.6 Проверка присоединительных размеров

8.6.1 Выбрать пункт «Проверка присоединительных размеров».

8.6.2 Проверку присоединительных размеров проводить с применением комплекта измерителей присоединительных размеров в соответствии с указаниями эксплуатационной документации на него.

8.6.3 Проверке подлежит присоединительный размер «А» соединителя измерительного порта каждого модуля. Тип соединителя NMD 1,85 мм, вилка. Размер «А» показан в приложении А.

8.6.4 Заполнить таблицу, указанную в программном обеспечении.

8.6.5 Результаты поверки считать положительными, если присоединительный размер находится в пределах от минус 0,08 до 0,00 мм.

9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

При поверке с помощью программного обеспечения VNA Performance Test рекомендуется придерживаться следующей конфигурации подключения модулей к анализатору:

- если поверяется один модуль, то его необходимо подключать к анализатору со стороны первого порта;
- если поверяются два модуля, то их необходимо подключать к анализатору со стороны первого и второго порта;
- если поверяются четыре модуля, то их необходимо подключить к анализатору одновременно; поверка в этом случае будет последовательно выполняться между

модулями, подключенными со стороны первого и второго порта анализатора, и далее между модулями – со стороны третьего и четвертого порта.

9.1 Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала

9.1.1 Определение относительной погрешности установки частоты проводить с помощью частотомера универсального (далее – частотомер).

9.1.2 Выбрать пункт «Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала».

9.1.3 Подготовить к работе частотомер в соответствии с руководством по эксплуатации на него.

9.1.4 Подключить частотомер к модулю.

9.1.5 Измерить частоты выходного сигнала в Гц с помощью частотомера, последовательно нажимая программные кнопки, на которых указаны значения контролируемых частот.

9.1.6 Зафиксировать результаты измерений.

9.1.7 Повторить измерения, подключая частотомер ко всем доступным модулям.

9.2 Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности

9.2.1 Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности проводить с помощью ваттметра поглощаемой мощности (далее – ваттметр). Уровень мощности следует контролировать на выходе каждого модуля.

9.2.2 Выбрать пункт «Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности».

9.2.3 Подготовить к работе ваттметр в соответствии с руководством по эксплуатации на него.

9.2.4 Подключить ваттметр к измерительному порту модуля, при необходимости, используя переход коаксиальный с известным коэффициентом передачи. Описание перехода можно ввести вручную или загрузить из файла (*.s2p), нажав на кнопку «Загрузить описание перехода».

9.2.5 Выбрать порт, нажав программную кнопку с номером требуемого порта.

9.2.6 Провести измерения выходной мощности минус 6 дБм с помощью ваттметра, последовательно нажимая программные кнопки со значениями частотных точек. Зафиксировать результаты измерений, данные занести в таблицу. Для компенсации неравномерности частотной характеристики ваттметра необходимо в его управляющем программном обеспечении указывать значение частоты, на которой проводятся текущие измерения мощности.

Программа VNA Performance Test может непосредственно управлять ваттметром. Для этого ваттметр должен быть подключён к персональному компьютеру, на котором установлено программное обеспечение анализатора, ваттметра и их драйверы. Настройки подключения находятся в программном обеспечении анализатора. Для автоматического заполнения строки минус 6 дБм следует нажать кнопку «Измерение минус 6 дБм в автоматическом режиме».

9.2.7 Не отключая ваттметр от порта модуля, нажать кнопку «Измерение мощности» для измерения других уровней мощности с помощью внутреннего приёмника. Диапазоны рабочих частот и установки уровня выходной мощности приведены в таблице 7.

9.2.8 Проверить, что относительная погрешность установки уровня выходной мощности во всех контролируемых точках находится в пределах $\pm 2,0$ дБ.

Таблица 7 - Диапазоны рабочих частот и установки уровня выходной мощности

Диапазон рабочих частот	Диапазон установки уровня выходной мощности
от 18 до 50 ГГц включ.	от минус 20 до плюс 3
св. 50 до 54 ГГц включ.	от минус 20 до минус 6

9.2.9 Аналогичным образом провести измерения для всех модулей.

9.3 Определение среднего квадратического отклонения трассы

9.3.1 Выбрать пункт «Определение среднего квадратического отклонения трассы».

9.3.2 Подключить к модулю, присоединённому к анализатору со стороны первого порта, нагрузку короткозамкнутую или нагрузку холостого хода из состава набора калибровочных мер.

9.3.3 Выполнить измерение, нажав программную кнопку «S11».

9.3.4 Повторить измерение, последовательно подключая нагрузку к остальным модулям (при их наличии) и нажимая кнопки «S22», «S33» и «S44».

9.3.5 Отключить нагрузку короткозамкнутую.

9.3.6 Если модулей в комплекте два и более, выполнить следующие пункты.

9.3.7 Подключить кабель СВЧ между модулями, присоединёнными со стороны первого и второго порта анализатора. Выполнить измерение, нажав программную кнопку «S21», а затем «S12». Во время измерения кабель СВЧ должен быть неподвижным.

9.3.8 Подключить кабель СВЧ между модулями, присоединёнными со стороны третьего и четвертого порта анализатора. Выполнить измерение, нажав программную кнопку «S43», а затем «S34». Во время измерения кабель СВЧ должен быть неподвижным.

9.3.9 По окончании отсоединить кабель СВЧ от модулей.

9.4 Определение уровня собственного шума приёмников

Определение уровня собственного шума приёмников проводится совместно с определением абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения при работе в автоматическом режиме по методу 1.

Проверка выполняется при наличии двух или четырех модулей.

9.4.1 Выбрать пункт «Определение уровня собственного шума приёмников».

9.4.2 Подключить нагрузки согласованные к измерительным портам модулей.

9.4.3 Выполнить измерение, нажав программную кнопку «Измерение».

9.4.4 Зафиксировать измеренные значения уровней собственного шума в заданных частотных диапазонах. Отключить нагрузки согласованные.

9.5 Определение нескорректированных параметров

Нескорректированные параметры должны быть определены непосредственно на выходе измерительных портов.

При проверке одного модуля

9.5.1 Выбрать пункт «Определение нескорректированных параметров». В течение проверки определяются нескорректированные параметры портов: направленность и согласование источника.

9.5.2 Подготовить к работе набор калибровочных мер в соответствии с руководством по эксплуатации на него.

9.5.3 Нажать программную кнопку «SOL калибровка» и перейти в программное обеспечение анализатора.

9.5.4 Выполнить полную однопортовую «калибровку». «Калибровка» осуществляется путём последовательного подключения мер к измерительному порту модуля.

9.5.5 После выполнения «калибровки» необходимо вернуться в программное

обеспечение VNA Performance Test и проверить, что измеренные нескорректированные параметры не выходят за допускаемые пределы.

При проверке двух или четырех модулей

9.5.7 Выбрать пункт «Определение нескорректированных параметров». В течение проверки определяются нескорректированные параметры портов: направленность, согласование источника и согласование нагрузки.

9.5.8 Подготовить к работе набор калибровочных мер в соответствии с руководством по эксплуатации на него.

9.5.9 Нажать программную кнопку «SOLR калибровка. Порт 1 и 2» и перейти в программное обеспечение анализатора.

Название кнопок в программном обеспечении VNA Performance Test для двух модулей (модификации C4209 / TFE1854 и C4220 / TFE1854) может не содержать информацию о портах.

9.5.10 Выполнить полную двухпортовую «калибровку» с неизвестной перемычкой. «Калибровка» осуществляется путём последовательного подключения мер к измерительным портам модулей. В качестве неизвестной перемычки следует использовать кабель СВЧ.

9.5.11 После выполнения «калибровки» необходимо вернуться в программное обеспечение VNA Performance Test и проверить, что измеренные нескорректированные параметры не выходят за допускаемые пределы.

9.5.12 Для четырех модулей повторить измерения, нажав программную кнопку «SOLR калибровка. Порт 3 и 4».

9.6 Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения

Определение погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения выполняется одним из следующих методов:

- *Метод 1 (метод сравнения)*: с использованием набора мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z218 или ZV-Z224.

Метод сравнения калибровок, представлен в МИ 3411-2013.

Принцип метода состоит в последовательном проведении двух «калибровок» с помощью двух наборов мер (эталонного и пользовательского) и сравнении полученных данных.

В качестве эталонного набора следует использовать набор мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z218 или ZV-Z224, в качестве пользовательского - набор калибровочных мер 08СК010-150. Все средства измерений указаны в таблице 4. Описание наборов (всех используемых мер), должно быть занесено в программное обеспечение анализатора, в соответствии с данными указанным в документации на них.

Нескорректированные параметры должны быть определены в соответствии с п. 9.5.

- *Метод 2 (прямой метод)*: с использованием набора мер коэффициентов передачи и отражения 85058V или 85057B.

Абсолютные погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения прямым методом определяются путём сравнения измеренных и действительных значений калибровочных мер, указанных в таблице 8, на регламентированных частотных точках.

Для измерений требуется наличие двух или четырех модулей

Таблица 8 – Методы определения абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения

Наименование	Метод 1	Метод 2
Тип	Метод сравнения	Прямой метод
Режим измерений	Автоматический	Автоматический и ручной
Определение погрешности модуля и фазы коэффициента отражения	Калибровочные меры ZV-Z218 или ZV-Z224	Отрезок коаксиального волновода 25 Ом из набора мер 85058V или 85057B
Определение погрешности модуля и фазы коэффициента передачи	Калибровочные меры ZV-Z218 или ZV-Z224	Аттенюаторы 10 (или 20), 40 дБ из набора мер 85058V или 85057B
<p>Примечания:</p> <p>1 Допускается вместо отрезка коаксиального волновода 25 Ом использовать двухпортовое устройство T-checker.</p> <p>2 Программное обеспечение VNA Performance Test позволяет выбирать ослабление аттенюаторов до начала проверки в зависимости применяемых средств.</p>		

Метод 1

При проверке одного модуля

9.6.1 В программном обеспечении VNA Performance Test выбрать пункт «Определение погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения и нескорректированных параметров».

9.6.2 Подготовить к работе набор мер коэффициентов передачи и отражения и набор калибровочных мер в соответствии с руководствами по эксплуатации на них.

9.6.3 Занести в таблицу эффективные параметры набора мер коэффициентов передачи и отражения в децибелах. Значения параметров указаны в МИ 3411-2013 и (или) в свидетельстве о поверке на набор.

Для пересчёта эффективных параметров (направленности E_d , согласования источника E_s , согласования нагрузки E_l , трекинга отражения E_r и трекинга передачи E_t) из линейного масштаба в логарифмический следует использовать формулы:

$$\begin{aligned} 20 \cdot \lg(E_d) & & -20 \cdot \lg(1 - E_r) \\ 20 \cdot \lg(E_s) & & -20 \cdot \lg(1 - E_t) \\ 20 \cdot \lg(E_l) & & \end{aligned}$$

Результаты расчёта следует записывать в таблицу без знака «минус».

9.6.4 Нажать программную кнопку «SOL калибровка пользовательским набором» и перейти в программное обеспечение анализатора.

9.6.5 Выполнить полную однопортовую «калибровку», используя набор калибровочных мер. Калибровка осуществляется путём последовательного подключения мер к измерительному порту.

9.6.6 После выполнения «калибровки» необходимо вернуться в программное обеспечение VNA Performance Test и нажать программную кнопку «SOL калибровка эталонным набором».

9.6.7 Аналогичным образом выполнить полную однопортовую «калибровку» с помощью набора мер коэффициентов передачи и отражения.

9.6.8 После выполнения двух «калибровок» проверить, что измеренные нескорректированные и эффективные параметры, отображаемые на графиках, не выходят за допускаемые пределы.

При проверке двух или четырех модулей

9.6.10 Выбрать пункт «Определение погрешности измерений модуля и фазы

коэффициентов передачи и отражения, нескорректированных параметров и уровня собственного шума приёмников».

9.6.11 Подготовить к работе набор мер коэффициентов передачи и отражения и набор калибровочных мер в соответствии с руководствами по эксплуатации на них.

9.6.12 Занести в таблицу эффективные параметры набора мер коэффициентов передачи и отражения в децибелах. Значения параметров указаны в МИ 3411-2013 и (или) в свидетельстве о поверке на набор.

9.6.13 Подключить нагрузки согласованные к измерительным портам модулей.

9.6.14 Нажать программную кнопку «Измерение».

9.6.15 Проверить, что измеренные значения уровней собственного шума в заданных частотных диапазонах соответствуют п. 10.5. Отключить нагрузки согласованные.

9.6.16 Нажать программную кнопку «SOLR калибровка пользовательским набором» и перейти в программное обеспечение анализатора.

9.6.17 Выполнить полную двухпортовую «калибровку» с неизвестной перемычкой, используя набор калибровочных мер. Калибровка осуществляется путём последовательного подключения мер к измерительным портам. В качестве неизвестной перемычки следует использовать кабель СВЧ.

9.6.18 После выполнения «калибровки» необходимо вернуться в программное обеспечение VNA Performance Test и нажать программную кнопку «SOLR калибровка эталонным набором».

9.6.19 Аналогичным образом выполнить полную двухпортовую «калибровку» с помощью набора мер коэффициентов передачи и отражения.

9.6.20 После выполнения двух «калибровок» проверить, что измеренные нескорректированные и эффективные параметры, отображаемые на графиках, не выходят за допускаемые пределы.

Метод 2

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения

Определение погрешности выполняется методом сравнения измеренных и действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом (далее – воздушная линия).

9.6.22 В программном обеспечении VNA Performance Test выбрать пункт «Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения».

9.6.23 Подготовить к работе набор калибровочных мер в соответствии с руководством по эксплуатации на него.

9.6.24 Заполнить таблицы, указав для используемой воздушной линии действительные значения модуля и фазы коэффициента отражения, а также погрешности их определения, на регламентируемых частотных точках.

9.6.25 Собрать схему измерений, указанную в инструкции VNA Performance Test. Воздушную линию не подключать.

9.6.26 Нажать программную кнопку «Калибровка» и перейти в программное обеспечение анализатора.

9.6.27 Выполнить полную двухпортовую «калибровку».

9.6.28 После выполнения «калибровки» подключить воздушную линию в соответствии со схемой измерений.

ВНИМАНИЕ! ПОДКЛЮЧЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ДОЛЖНО БЫТЬ ВЫПОЛНЕНО С МИНИМАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ПОЛОЖЕНИЯ КАБЕЛЯ СВЧ.

9.6.29 Нажать в VNA Performance Test программную кнопку «Измерение». Проверить, что погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения находятся в заданных пределах с учётом погрешности описания воздушной линии.

9.6.30 Результаты проверки считать положительными, если погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения находятся в заданных пределах.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи

Проверка выполняется методом сравнения измеренных и действительных значений модуля и фазы коэффициентов передачи аттенуаторов.

9.6.31 Выбрать пункт «Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи».

9.6.32 Подготовить к работе набор калибровочных мер в соответствии с руководством по эксплуатации на него.

9.6.33 Загрузить файл описания аттенуатора 10 дБ (или 20 дБ) «*.s2p», нажав программную кнопку «Загрузить описание аттенуатора 10 дБ».

9.6.34 Заполнить таблицу, указав для аттенуатора действительные значения погрешности определения модуля и фазы коэффициентов передачи (S21 и S12) на регламентируемых частотных точках. Введённые значения погрешности могут быть сохранены в файл и загружены при дальнейшем использовании.

9.6.35 Загрузить файл описания аттенуатора 40 дБ «*.s2p», нажав программную кнопку «Загрузить описание аттенуатора 40 дБ». Заполнить таблицу, указав действительные значения погрешности определения модуля и фазы коэффициентов передачи (S21 и S12) на регламентируемых частотных точках.

9.6.36 Собрать схему измерений, указанную в инструкции VNA Performance Test. Нажать программную кнопку «Калибровка» и перейти в программное обеспечение анализатора.

9.6.37 Выполнить полную двухпортовую «калибровку».

9.6.38 После выполнения «калибровки» подключить аттенуатор 10 дБ в соответствии со схемой измерений.

ВНИМАНИЕ! ПОДКЛЮЧЕНИЕ АТТЕНУАТОРА ДОЛЖНО БЫТЬ ВЫПОЛНЕНО С МИНИМАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ПОЛОЖЕНИЯ КАБЕЛЯ СВЧ.

9.6.39 В VNA Performance Test нажать программную кнопку «Измерение аттенуатора 10 дБ». Проверить, что погрешность измерений модуля и фазы коэффициента передачи находится в заданных пределах. При необходимости изменения ориентации описания аттенуатора следует нажать кнопку «Реверс описания».

Примечание - Аттенуаторы являются несимметричными устройствами, будьте внимательны к ориентации при их подключении и сравнении данных.

9.6.40 Вместо аттенуатора 10 дБ подключить аттенуатор 40 дБ и нажать программную кнопку «Измерение аттенуатора 40 дБ». Проверить, что погрешность измерений модуля и фазы коэффициента передачи находится в заданных пределах. При необходимости изменения ориентации описания аттенуатора следует нажать кнопку «Реверс описания».

10 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

10.1 Обработка результатов измерений выполняется программным обеспечением VNA Performance Test или, при работе в ручном режиме, поверителем по формулам,

приведенным в приложении А.

10.2 Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала проводится методом прямых измерений в соответствии с п. 9.1.

Результаты поверки считать положительными, если относительная погрешность установки частоты выходного сигнала находится в пределах $\pm 2 \cdot 10^{-6}$.

10.3 Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности проводится методом прямых измерений в соответствии с п. 9.2.

Результаты поверки считать положительными, если относительная погрешность установки уровня выходной мощности находится в пределах $\pm 2,0$ дБ.

10.4 Определение среднего квадратического отклонения трассы проводится в соответствии с п. 9.3.

Результаты поверки считать положительными, если среднее квадратическое отклонение всех трасс не превышает значений:

0,0015 дБ от 18 до 36 ГГц включ.;

0,0025 дБ св. 36 до 50 ГГц включ.;

0,0025 дБ св. 50 до 54 ГГц включ.;

10.5 Определение уровня собственного шума приёмников проводится в соответствии с п. 9.4.

Результаты поверки считать положительными, если уровни собственного шума приёмников не превышают значений:

минус 130 дБм/Гц от 18 до 36 ГГц включ.;

минус 120 дБм/Гц св. 36 до 50 ГГц включ.;

минус 120 дБм/Гц св. 50 до 54 ГГц включ.;

10.6 Определение нескорректированных параметров на выходе измерительных портов проводится в соответствии с п. 9.5.

Результаты проверки считать положительными, если параметры измерительных портов не менее значений, приведенных в таблице 9.

Таблица 9 - Параметры измерительных портов

Кол-во поверяемых модулей	Диапазон частот, ГГц	Направленность [дБ]	Согласование источника [дБ]	Согласование нагрузки [дБ]
1	от 18 ГГц до 54 включ.	10	10	10
2 или 4	от 18 ГГц до 54 включ.	10	10	–

10.7 Абсолютная погрешность измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения определяется в соответствии с п. 9.6 по *Методу 1* методом сравнения калибровок или по *Методу 2* методом прямых измерений.

Результаты поверки считать положительными, если:

Метод 1. Программное обеспечение отображает положительное заключение о соответствии:

- нескорректированные параметры не выходят за допускаемые пределы, приведённые в таблице ;

- эффективные параметры не выходят за допускаемые пределы, приведённые в программном обеспечении VNA Performance Test с учётом погрешности эталонного набора мер.

Метод 2. Погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи и отражения находятся в пределах приведенных в таблице 10.

Таблица 10 - Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи и отражения

Наименование характеристики	Значение характеристики
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения	$\pm[Ed + (Er-1) \cdot S_{ii} + Es \cdot S_{ii} ^2]^*$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи	$\pm S_{ji} \cdot [(Et-1) + Es \cdot S_{ii} + El \cdot S_{jj} + D_{MIN} \cdot S_{ji} ^{-1} + L \cdot (S_{ji} /D_{MAX})^2]^{**}$
<p>* Обозначение в формулах ΔS_{ii}, линейный масштаб (отн. ед.); S_{ii} – действительный (или измеренный) модуль коэффициента отражения исследуемого устройства в линейном масштабе; Ed – эффективная направленность; Er – эффективный трекинг отражения; Es – эффективное согласование источника.</p> <p>** Обозначение в формулах ΔS_{ji}, линейный масштаб (отн. ед.); S_{ji} – действительный (или измеренный) модуль коэффициента передачи в линейном масштабе; S_{ii} и S_{jj} – действительный (или измеренный) модуль коэффициента отражения входа и выхода исследуемого устройства в линейном масштабе; Et – эффективный трекинг передачи; El – эффективное согласование нагрузки; $L = 0,012$ – коэффициент, характеризующий линейность амплитудной характеристики приёмников; D_{MIN} и D_{MAX} – нижняя и верхняя границы диапазона измерений модуля коэффициента передачи, линейный масштаб, для перевода из логарифмического масштаба, выраженного в дБ, в линейный $D[lin] = 10^{D[dB]/20}$.</p>	

10.8 Критериями принятия специалистом, проводившим поверку, решения по подтверждению соответствия средства измерений метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа, являются:

- обязательное выполнение всех процедур, перечисленных в разделах 7, 8, 9 и соответствие действительных значений метрологических характеристик модулей требованиям, указанным в пунктах раздела 9 «Определение метрологических характеристик средства измерений» данной методики поверки.

- обеспечение прослеживаемости поверяемых модулей к государственным первичным эталонам единиц величин в соответствии с:

Приказ Росстандарта № 1621 от 31.07.2018 Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты;

Приказ Росстандарта № 3461 от 30.12.2019 Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 9 кГц до 37,5 ГГц;

Приказ Росстандарта № 2839 от 29.12.2018 Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,50 до 78,33 ГГц;

Приказ Росстандарта № 3383 от 30.12.2019 Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений ослабления напряжения постоянного тока и электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 20 Гц до 178,4 ГГц.

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 Модули признаются годными, если в ходе поверки все результаты поверки положительные.

11.2 Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

11.3 При положительных результатах поверки по заявлению владельца модуля или лица, предъявившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке, и (или) в формуляр модуля вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки.

11.4 Знак поверки в виде наклейки наносится на свидетельство о поверке.

11.5 При выполнении сокращенной поверки (на основании решения или заявки на проведение поверки эксплуатирующей организации) в свидетельстве о поверке указывать диапазон частот, на котором выполнена поверка.

11.6 Модуль, имеющий отрицательные результаты поверки, в обращение не допускается. На него выдается извещение о непригодности к применению с указанием причин забракования по установленной форме.

Начальник НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»



О.В. Каминский

Начальник отдела 11 НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»



И.П. Чирков

Инженер лаборатории 113 ФГУП «ВНИИФТРИ»



О. А. Коновалова

**ПРИЛОЖЕНИЕ А
(СПРАВОЧНОЕ)
ОПИСАНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ**

Далее по тексту установка параметров модулей, подключенных к анализатору, выполняется в программном обеспечении S2VNA для C4209 / TFE1854, C4220 / TFE1854 и S4VNA для C4409 / TFE1854, C4420 / TFE1854.

Управление и питание модулей осуществляется непосредственно с анализатора. Количество одновременно работающих модулей определяется количеством портов анализатора. Схемы измерений приведены на примере подключения к двухпортовому анализатору.

Для подключения кабеля СВЧ могут потребоваться переходы (см. пункт 5).

Внешний осмотр

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Средства поверки не требуются	

Описание проверки	Заключение о соответствии
Комплектность соответствует приведённой в эксплуатационной документации	
Отсутствуют механические повреждения соединителей	
Отсутствуют глубокие царапины и вмятины на корпусе	
Отсутствуют шумы внутри корпуса, обусловленные наличием незакреплённых деталей	
Отсутствуют следы коррозии металлических деталей и следы воздействия жидкостей или агрессивных паров	
Лакокрасочные покрытия не повреждены	
Маркировка разборчива	
Кабель RF, LO, IF и управления не имеют повреждений	

Внешний осмотр
(продолжение)

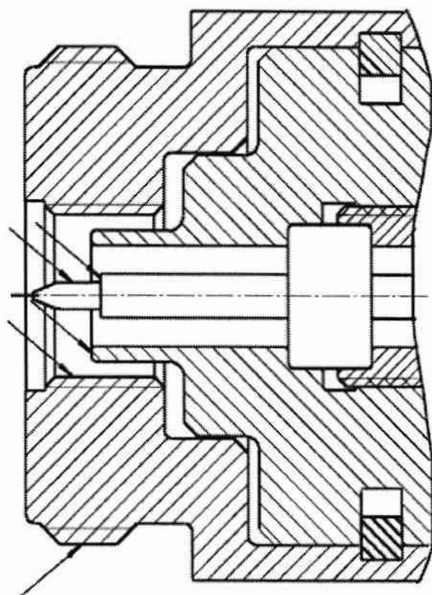


Рисунок А.1 – Чистка соединителей на примере соединителя NMD 1,85 мм, вилка

Стрелками указаны поверхности, которые необходимо протирать при чистке соединителей.

Чистку коаксиальных соединителей проводить по следующей методике:

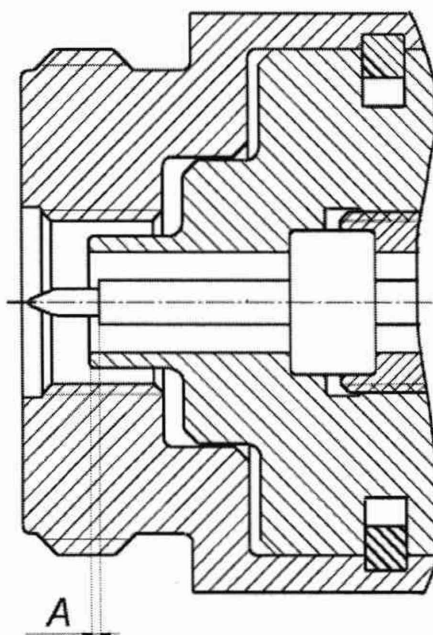
- протереть поверхности соединителя, указанные стрелками на рисунке, палочкой с ватным тампоном, смоченным в спирте;
- провести чистку остальных внутренних поверхностей соединителя, продув их воздухом;
- просушить соединитель, убедиться в отсутствии остатков спирта внутри соединителя;
- провести визуальный контроль чистоты соединителя, убедиться в отсутствии посторонних частиц;
- при необходимости чистку повторить.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРИМЕНЯТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПРЕДМЕТЫ ДЛЯ ЧИСТКИ СОЕДИНИТЕЛЕЙ.

Проверка присоединительных размеров

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Комплект измерителей присоединительных размеров КИПР-05Р-05	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений присоединительных размеров $\pm 0,01$ мм

Тип соединителя	Нижний предел [мм]	Измеренное значение [мм]	Верхний предел [мм]
PORT 50Ω NMD 1,85 мм, вилка	-0,08		0



NMD 1,85 мм, вилка

Рисунок А.2 – Присоединительный размер А

Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Частотомер универсальный CNT-90XL	Пределы относительной погрешности по частоте за один год $\pm 5 \cdot 10^{-7}$

Порт	Установленная частота [МГц]	Измеренная частота [Гц]	Относительная погрешность [10^{-6}]	Допускаемое значение [10^{-6}]
1	F_1			$\pm 2,0$
	...			
	F_N			
(2, 3, 4)	F_1			$\pm 2,0$
	...			
	F_N			

Измерения проводят для трёх-пяти произвольно выбранных частот в начале, середине и конце диапазона рабочих частот модуля.

Расчёт относительной погрешности установки частоты выходного сигнала δf следует выполнять по формуле:

$$\delta f = (f_{\text{ИЗМ}} - f_{\text{УСТ}}) / f_{\text{УСТ}},$$

где $f_{\text{ИЗМ}}$ – измеренное значение частоты, Гц;
 $f_{\text{УСТ}}$ – установленное значение частоты, Гц.

Допускается применение анализатора спектра, обеспечивающего измерение частоты выходного сигнала поверяемого модуля с требуемой точностью.

Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала
(продолжение)

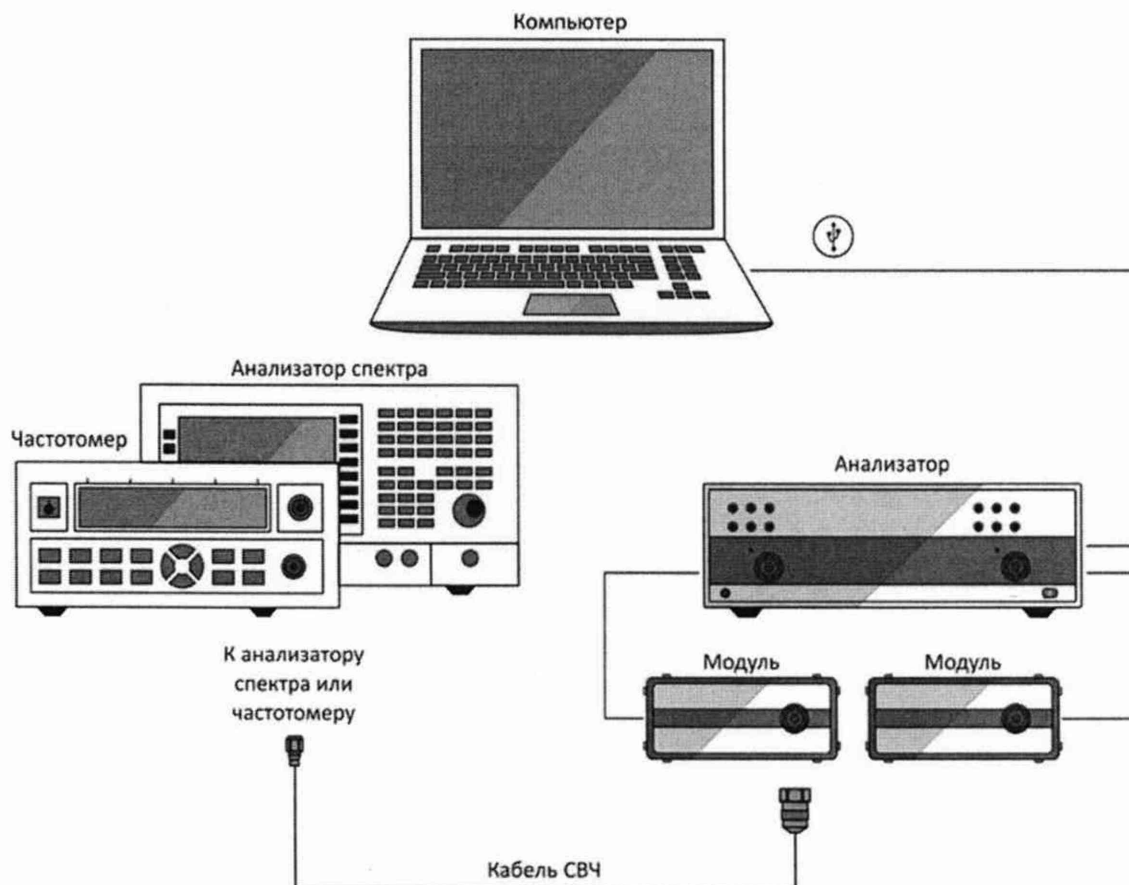


Рисунок А.3 – Схема измерений

Проведение измерений:

Установить параметры по умолчанию, требуемую частоту выходного сигнала, полосу сканирования 0 Гц, триггер запуска сканирования в положение «Однократно». Для каждого измерения необходимо переводить триггер запуска в состояние «Однократно» из положения «Стоп».

Погрешность установки частоты проверяется на выходе каждого модуля.

Настройки	
Команда	Установка
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
фиксированная частота	Стимул, Центр F МГц, Стимул, Полоса 0 Гц
однократный запуск	Стимул, Запуск, Однократно

где F – требуемое значение частоты, МГц.

Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Ваттметр поглощаемой мощности NRP67T	Пределы допускаемой относительной погрешности измерений мощности $\pm 10\%$

Порт	Выходная мощность [дБм]	Измеренная выходная мощность [дБм]			Относительная погрешность [дБ]	Допускаемое значение [дБ]
		Частота [МГц]				
		F_1	...	F_N		
1	-6				$\pm 2,0$	
	P_1					
	...					
	P_N					
(2, 3, 4)	-6				$\pm 2,0$	
	P_1					
	...					
	P_N					

Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности
(продолжение)

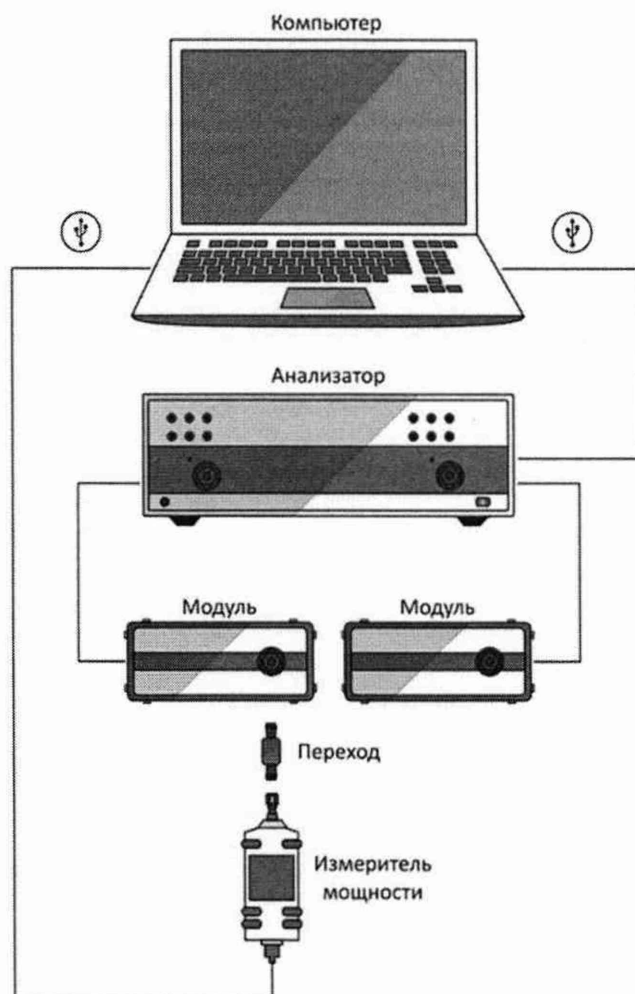


Рисунок А.4 – Схема измерений

Измерения проводят при уровне выходной мощности минус 6 дБм и других трёх-пяти значениях $P_{1...N}$ на не менее пяти произвольно выбранных частотах $F_{1...N}$. Диапазоны рабочих частот и установки уровня выходной мощности приведены в таблице 10. При проверке должны контролироваться граничные значения частот и мощностей.

Погрешность установки уровня выходной мощности проверяется на выходе каждого модуля.

Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности
(продолжение)

Проведение измерений:

Установить параметры по умолчанию, уровень выходной мощности минус 6 дБм, требуемую частоту выходного сигнала $F_1... F_N$, полосу сканирования 0 Гц, триггер запуска сканирования в положение «Однократно». Для каждого измерения необходимо переводить триггер запуска в состояние «Однократно» из положения «Стоп».

Последовательно измерить уровень выходной мощности минус 6 дБм с помощью ваттметра на частотах $F_1... F_N$. При использовании перехода для подключения ваттметра к измерительному порту, необходимо учитывать вносимое ослабление (коэффициент передачи).

Проверку остальных уровней выходной мощности следует выполнять с помощью опорных приёмников после нормализации данных (деления данных на память). За результат принимается сумма показаний опорных приёмников на каждой контролируемой частоте и измеренных значений минус 6 дБм с помощью ваттметра.

Настройки	
Команда	Установка
Измерение с помощью ваттметра	
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
фиксированная частота	Стимул, Центр F МГц, Стимул, Полоса 0 Гц
уровень выходной мощности	Стимул, Мощность, Мощность минус 6 дБм
выбор измеряемого параметра	Измерение (S11, S22, S33, S44)
однократный запуск	Стимул, Запуск, Однократно

Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности
(продолжение)

Настройки	
Команда	Установка
Измерение с помощью опорных приёмников	
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
уровень выходной мощности	Стимул, Мощность, Мощность минус 6 дБм
<i>i</i> строка таблицы сегментов: старт и стоп число точек полоса ПЧ	Стимул, Таблица сегментов F_i (из $F_1... F_N$) 1 10 Hz
включение режима сегментного сканирования	Стимул, Тип сканирования, Сегментный
режим абсолютных измерений для порта 1	Измерение, Абсолютн. (Опорный приемник), R1 (1)
режим абсолютных измерений для порта 2	Измерение, Абсолютн. (Опорный приемник), R2 (2)
режим абсолютных измерений для порта 1	Измерение, Абсолютн. (Опорный приемник), R3 (3)
режим абсолютных измерений для порта 2	Измерение, Абсолютн. (Опорный приемник), R4 (4)
нормализация результатов измерений	Индикация, Данные → Память, Математика Дан / Пам
уровень выходной мощности P дБм	Стимул, Мощность, Мощность P дБм
добавление маркера	Маркеры, Добавить маркер, F МГц

Определение среднего квадратического отклонения трассы

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Нагрузка короткозамкнутая или холостого хода из состава набора калибровочных мер 08СК010-150	Тип соединителя 1,85 мм, розетка
Нагрузка короткозамкнутая или холостого хода из состава набора калибровочных мер 09СК010-150	Тип соединителя 2,4 мм, розетка
Кабель измерительный TESTPRO2	Амплитудно- и фазостабильный кабель СВЧ

Частота	Среднеквадратические отклонение трассы [дБ]		Максимальное измеренное значение [дБ]	Верхний предел [дБ]
Диапазон ΔF	S_{11} (S_{33})			согласно 9.3.10
	S_{22} (S_{44})			
	S_{21} (S_{43})			
	S_{12} (S_{34})			
<p>Диапазоны частот ΔF и соответствующие предельные значения среднеквадратического отклонения указаны в пункте 9.3.10. В скобках указаны параметры, относящиеся к проверке четырех модулей.</p>				

Определение среднего квадратического отклонения трассы
(продолжение)

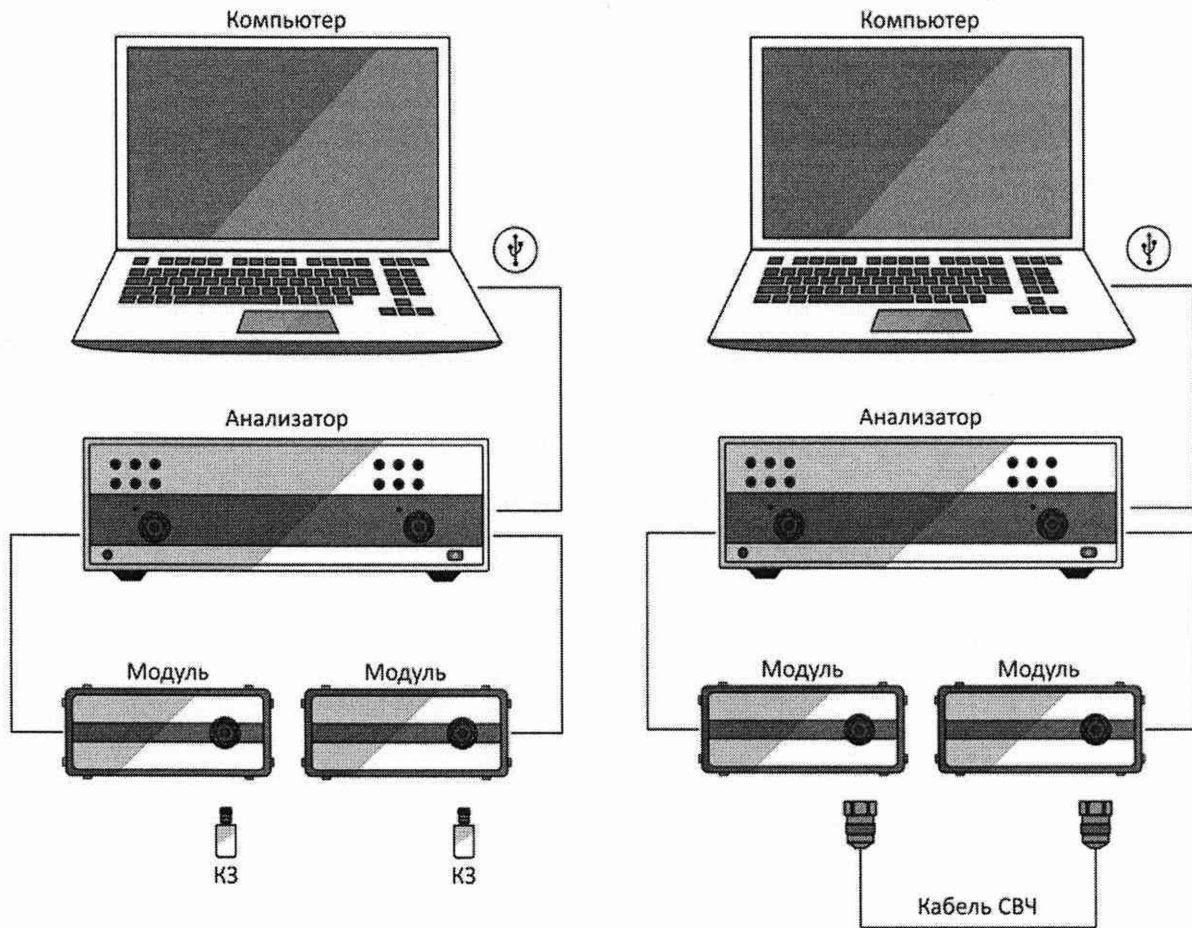


Рисунок А.5 – Схема измерений

Измерения проводят при уровне выходной мощности 0 дБм и полосе фильтра промежуточной частоты 3 кГц последовательно в каждом диапазоне частот, указанном в 9.3.10.

Определение среднего квадратического отклонения трассы
(продолжение)

Проведение измерений:

Установить параметры по умолчанию, уровень выходной мощности 0 дБм, полосу фильтра промежуточной частоты 3 кГц, диапазон частот в соответствии с 9.3.10, количество точек не менее 500.

При измерении следует определять среднее квадратическое отклонение модулей коэффициентов передачи и отражения после нормализации (деления данных на память). За результат принимается значение параметра «ст. отк», считанное из маркера «Статистика» программного обеспечения.

Настройки	
Команда	Установка
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
выбор измеряемого параметра	Измерение (S-параметры)
Конфигурация сегментного сканирования	
строка 1 таблицы сегментов: старт и стоп количество точек полоса ПЧ	Стимул, Таблица сегментов Диапазон частот ΔF (см. 9.3.10) Не менее 500 3 кГц
включение режима сегментного сканирования	Стимул, Тип сканирования, Сегментный
уровень выходной мощности	Стимул, Мощность, Мощность 0 дБм
нормализация результатов измерений	Индикация, Данные → Память, Математика Дан / Пам
отображение статистики	Маркеры, Маркерные вычисления, Статистика – Вкл

Определение уровня собственного шума приёмников

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Нагрузки согласованные 08K150-C11S3	Тип соединителя 1,85 мм, розетка КСВН не более 1,2
Нагрузки согласованные 09K150-C10S3	Тип соединителя 2,4 мм, розетка КСВН не более 1,2
Количество требуемых нагрузок – 2 шт. при поверке двух модулей и 4 шт. при поверке четырех модулей.	

Частота	Уровень шума [дБм]	Максимальное измеренное значение [дБм]	Верхний предел [дБм]
Диапазон ΔF	S21		согласно 9.4.5
	(S31)		
	(S41)		
	S12		
	(S32)		
	(S42)		
	(S13)		
	(S23)		
	(S43)		
	(S14)		
	(S24)		
	(S34)		
Диапазоны частот ΔF и соответствующие предельные значения уровня собственного шума приёмников указаны в пункте 9.4.5. В скобках указаны параметры, относящиеся к проверке четырех модулей.			

Определение уровня собственного шума приёмников
(продолжение)

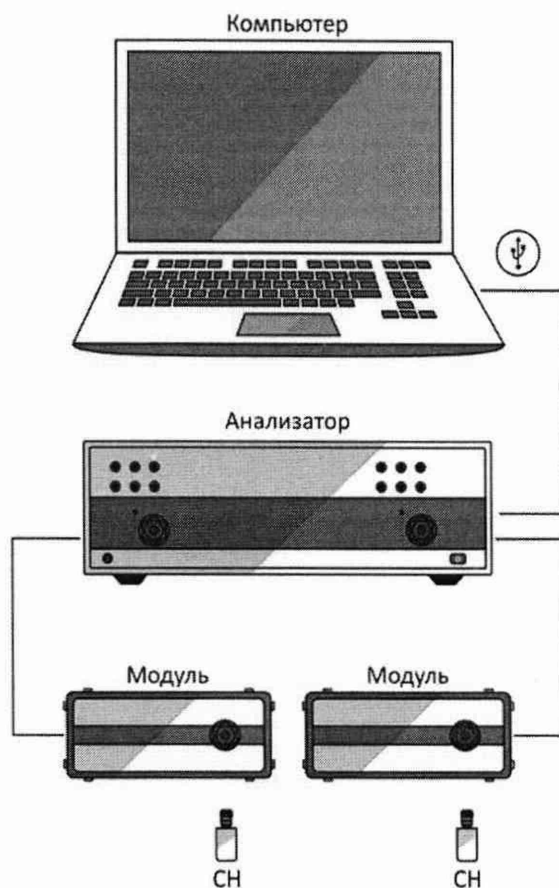


Рисунок А.6 – Схема измерений

Измерения проводят при уровне выходной мощности 0 дБм и полосе фильтра промежуточной частоты 100 Гц последовательно в каждом диапазоне частот, указанном в п. 9.4.5.

Для измерений требуется наличие двух или четырех модулей.

Определение уровня собственного шума приёмников
(продолжение)

Проведение измерений:

Установить параметры по умолчанию, уровень выходной мощности 0 дБм, полосу фильтра промежуточной частоты 100 Гц, диапазон частот в соответствии с п. 9.4.5, количество точек не менее 500.

При измерении следует определять среднее значение уровня собственного шума S_{ji} (модуля соответствующих коэффициентов передачи) в линейном масштабе в установленном диапазоне частот. За результат принимается значение параметра «сред», считанное из маркера «Статистика» программного обеспечения. По окончании измерений необходимо перевести результат в логарифмический масштаб по формуле $20 \cdot \lg(S_{ji})$.

Для пересчёта собственного шума к дБм/Гц необходимо отнять значение $10 \cdot \lg(\Delta f_{ПЧ.М}/\Delta f_{ПЧ.Н})$ от результата измерений, где $\Delta f_{ПЧ.М}$ – ширина полосы пропускания фильтра промежуточной частоты при измерении, Гц; $\Delta f_{ПЧ.Н}$ – номинальная ширина полосы пропускания фильтра промежуточной частоты, равная 1 Гц.

Настройки	
Команда	Установка
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
выбор измеряемого параметра	Измерение (S-параметры)
формат отображения	Формат
Конфигурация сегментного сканирования	
строка 1 таблицы сегментов: старт и стоп количество точек полоса ПЧ	Стимул, Таблица сегментов Диапазон частот ΔF (см. 9.4.5) Не менее 500 100 Гц
включение режима сегментного сканирования	Стимул, Тип сканирования, Сегментный
уровень выходной мощности	Стимул, Мощность, Мощность 0 дБм
отображение статистики	Маркеры, Маркерные вычисления, Статистика – Вкл

Определение нескорректированных параметров

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Набор калибровочных мер 08СК010-150	Тракт 1,85/0,8 мм Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик
Набор калибровочных мер 09СК010-150	Тракт 2,4/1,04 мм Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик
Кабель измерительный TESTPRO2	Амплитудно- и фазостабильный кабель СВЧ

Параметр	Нижний предел [дБ]	Измеренное значение [дБ]	Верхний предел [дБ]
Направленность: диапазон частот ΔF_I ... диапазон частот ΔF_N			-
Согласование источника: диапазон частот ΔF_I ... диапазон частот ΔF_N			-
Согласование нагрузки: диапазон частот ΔF_I ... диапазон частот ΔF_N			-

Диапазоны частот ΔF и соответствующие предельные значения нескорректированных параметров указаны в таблице 10 или 11.

Определение нескорректированных параметров
(продолжение)

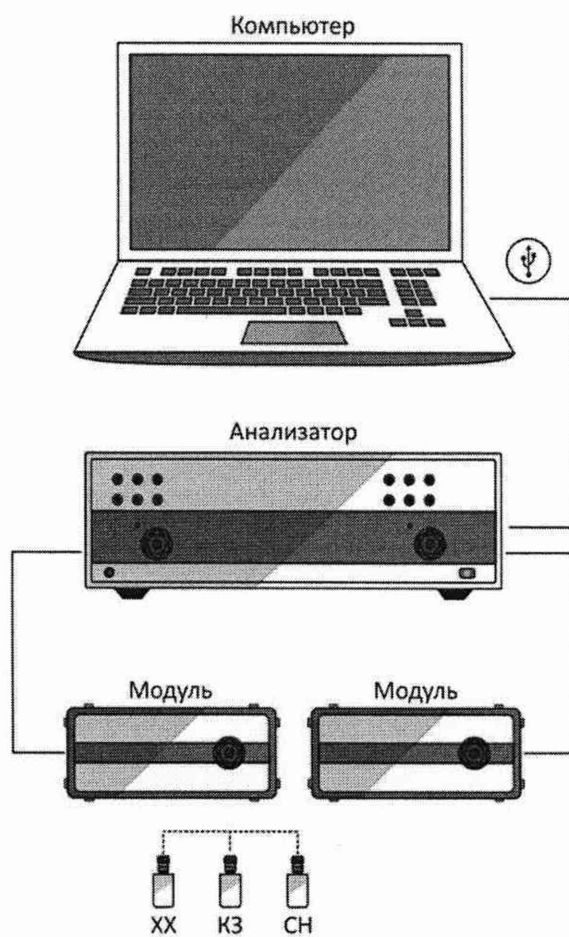


Рисунок А.7 – Схема измерений
(проведение полной однопортовой «калибровки»)

Определение нескорректированных параметров
(продолжение)

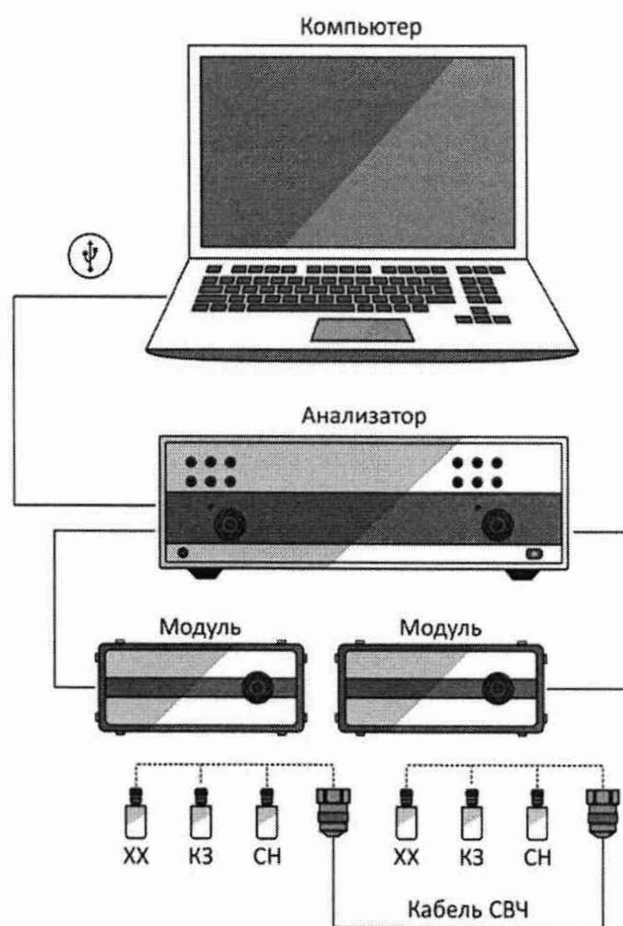


Рисунок А.8 – Схема измерений
(проведение полной двухпортовой «калибровки» с неизвестной перемычкой)

Определение нескорректированных параметров

(продолжение)

Проведение измерений:

Установить параметры по умолчанию, отключить системную коррекцию, уровень выходной мощности минус 10 дБм, полосу фильтра промежуточной частоты не более 1 кГц, диапазон частот от 18 до 54 ГГц в тракте 1,85/0,8 мм и от 18 до 50 ГГц в тракте 2,4/1,04 мм.

В качестве частотного ряда рекомендуется использовать приведенный в VNA Performance Test.

Если применяемые нагрузки из набора мер имеют табличное описание (файлы с расширением *s1p*), то рекомендуется установить количество точек таким, чтобы частоты измерений и описаний совпадали, для исключения погрешности интерполяции между точками.

После проведения «калибровки» необходимо вычислить нескорректированные параметры, используя файл состояния с расширением *sta*, и сравнить их с предельными значениями, указанными в таблице 10 или 11.

Нескорректированные параметры – это определяемые в процессе «калибровки» коэффициенты (комплексные оценки ошибок в соответствии с моделью анализатора, см. МИ 3411-2013), которые применяются для векторной коррекции результатов измерения с целью повышения точности. После калибровки эти коэффициенты необходимо сохранить в файл (Сохранить/Восстановить > Сохранить состояние > Файл...).

Каждый калибровочный коэффициент записывается в файл *.sta в виде реальной и мнимой части комплексного числа на всех точках измерений.

После проведения полной однопортовой «калибровки» в файле будут находиться три коэффициента; после полной двухпортовой «калибровки» – 12 коэффициентов. Структура данных будет выглядеть следующим образом:

{Частоты, Гц}	{Re(Er11)}	{Im(Er11)}	{Re(Ed11)}	{Im(Ed11)}	{Re(Es11)}	{Im(Es11)}
{Частоты, Гц}	{Re(Et12)}	{Im(Et12)}	{Re(Ex12)}	{Im(Ex12)}	{Re(El12)}	{Im(El12)}
{Частоты, Гц}	{Re(Et21)}	{Im(Et21)}	{Re(Ex21)}	{Im(Ex21)}	{Re(El21)}	{Im(El21)}
{Частоты, Гц}	{Re(Er22)}	{Im(Er22)}	{Re(Ed22)}	{Im(Ed22)}	{Re(Es22)}	{Im(Es22)}

Допускается применять любые доступные текстовые редакторы для чтения данных из файла.

Определение нескорректированных параметров
(продолжение)

Для определения нескорректированной направленности, дБ, первого и второго порта соответственно следует использовать нижеприведённые формулы:

$$20 \cdot \lg \left(\left| \frac{Re(Ed11) + i \cdot Im(Ed11)}{Re(Er11) + i \cdot Im(Er11)} \right| \right) \quad \text{и} \quad 20 \cdot \lg \left(\left| \frac{Re(Ed22) + i \cdot Im(Ed22)}{Re(Er22) + i \cdot Im(Er22)} \right| \right).$$

Расчёт нескорректированного согласования источника, дБ, первого и второго порта необходимо выполнять по формулам:

$$20 \cdot \lg(|Re(Es11) + i \cdot Im(Es11)|) \quad \text{и} \quad 20 \cdot \lg(|Re(Es22) + i \cdot Im(Es22)|).$$

Расчёт нескорректированного согласования нагрузки, дБ, для первого и второго порта выполнять по формулам:

$$20 \cdot \lg(|Re(El21) + i \cdot Im(El21)|) \quad \text{и} \quad 20 \cdot \lg(|Re(El12) + i \cdot Im(El12)|).$$

За результат принимается максимальное значение параметра в диапазоне частот. При записи в протокол знак «минус» отбрасывается.

Настройки	
Команда	Установка
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
уровень выходной мощности	Стимул, Мощность, Мощность минус 10 дБм
полоса ПЧ	Стимул, Полоса ПЧ не более 1 кГц
количество точек	Стимул, Число точек [число точек]
SOL или SOLR калибровка	
выбор набора мер	Калибровка, Комплект мер [название набора]
выполнение калибровки	Калибровка, Калибровать, Полн. 1-порт. или Полн. 2-порт.
Сохранение данных в файл	
сохранение данных	Сохран/Восст, Сохранить состояние, Файл...

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения (метод 1)

Проверка осуществляется только в автоматическом режиме.

Программное обеспечение VNA Performance Test содержит все необходимые инструкции и схемы измерений и автоматически устанавливает параметры в ходе проверки, которые не следует менять самостоятельно.

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Набор калибровочных мер 08СК010-150	Тракт 1,85/0,8 мм Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик
Набор мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z218	Тракт 1,85/0,8 мм Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик
Набор калибровочных мер 09СК010-150	Тракт 2,4/1,04 мм Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик
Набор мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z224	Тракт 2,4/1,04 мм Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик
Кабель измерительный TESTPRO2	Амплитудно- и фазостабильный кабель СВЧ

Измерения проводят в диапазоне рабочих частот модулей при уровне выходной мощности минус 10 дБм.

Полоса фильтра промежуточной частоты не более 1 кГц.

Методика измерений представлена в МИ 3411-2013. Она позволяет определять отдельные составляющие погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения, а также включает проверку уровня собственного шума приёмников и нескорректированных параметров. Принцип состоит в последовательном проведении двух «калибровок» одних и тех же модулей с помощью двух разных средств (эталонного и пользовательского наборов мер) и поэлементном сравнении полученных данных.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 2)

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Набор калибровочных мер 08СК010-150	Тракт 1,85/0,8 мм Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик
Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85058V	Тракт 1,85/0,8 мм Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом $\pm(0,030...0,060)$ в линейном масштабе Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом $\pm(5...40)$ градусов
Набор калибровочных мер 09СК010-150	Тракт 2,4/1,04 мм Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик
Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85057B	Тракт 2,4/1,04 мм Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом $\pm(0,030...0,060)$ в линейном масштабе Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом $\pm(5...40)$ градусов
Кабель измерительный TESTPRO2	Амплитудно- и фазостабильный кабель СВЧ

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 2, продолжение)

Погрешность измерений модуля коэффициента отражения	Нижний предел (лин)	Измеренное значение (лин)	Верхний предел (лин)
Диапазон частот ΔF_I			
ниже -25 дБ (ниже 0,056)			
от -25 до -15 дБ (от 0,056 до 0,178)			
от -15 до 0 дБ (от 0,178 до 1,000)			
Диапазон частот ΔF_N			
ниже -25 дБ (ниже 0,056)			
от -25 до -15 дБ (от 0,056 до 0,178)			
от -15 до 0 дБ (от 0,178 до 1,000)			

Погрешность измерений фазы коэффициента отражения	Нижний предел [градус]	Измеренное значение [градус]	Верхний предел [градус]
Диапазон частот ΔF_I			
от -25 до -15 дБ (от 0,056 до 0,178)			
от -15 до 0 дБ (от 0,178 до 1,000)			
Диапазон частот ΔF_N			
от -25 до -15 дБ (от 0,056 до 0,178)			
от -15 до 0 дБ (от 0,178 до 1,000)			

Диапазоны частот ΔF указаны в таблице с эффективными параметрами (см. ниже по тексту).

Пределы рассчитываются с учётом погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения используемой воздушной линии.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 2, продолжение)

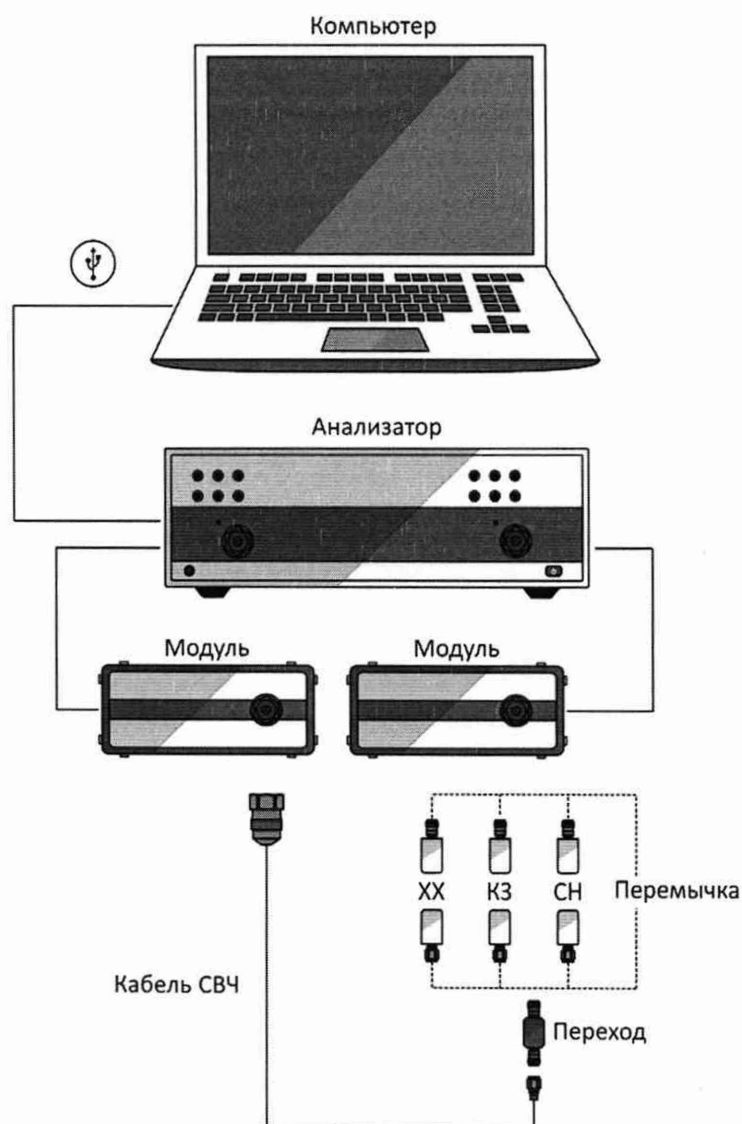


Рисунок А.9 – Схема измерений
(проведение полной двухпортовой «калибровки»)

Для улучшения повторяемости при подключении устройств рекомендуется использовать прецизионный переход.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 2, продолжение)

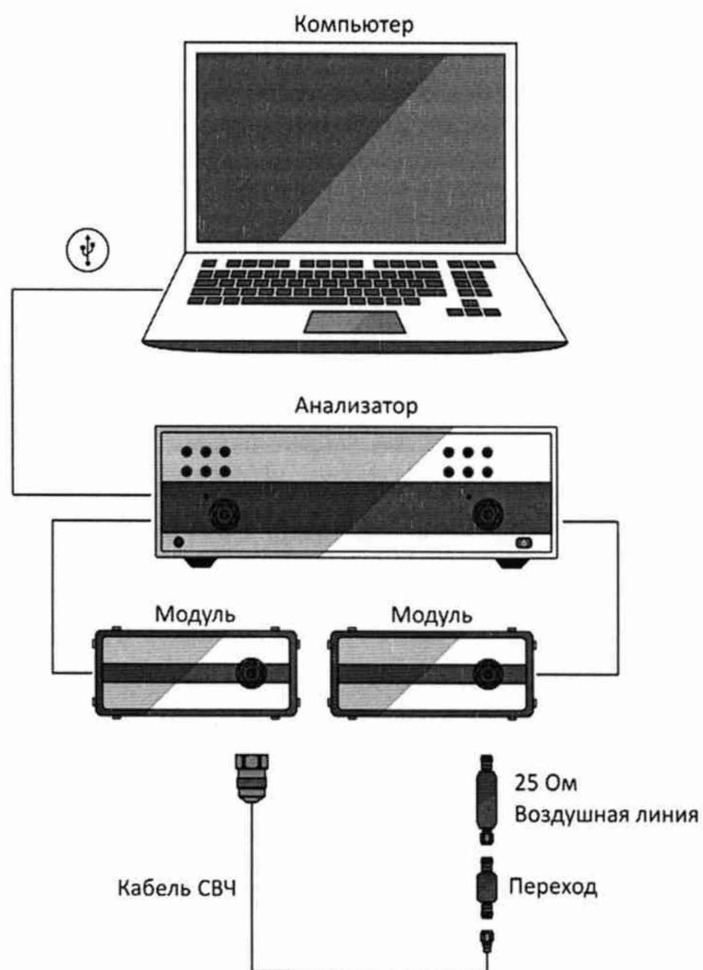


Рисунок А.10 – Схема измерений
(измерение параметров воздушной линии)

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 2, продолжение)

Проведение измерений:

Установить параметры по умолчанию, уровень выходной мощности минус 10 дБм, полосу фильтра промежуточной частоты не более 1 кГц, диапазон частот от 18 до 54 ГГц в тракте 1,85/0,8 мм и от 18 до 50 ГГц в тракте 2,4/1,04 мм.

Измерения следует проводить на регламентируемых для воздушной линии частотах (на частотах её описания). Для этого рекомендуется использовать сегментное сканирование.

После выполнения полной двухпортовой «калибровки» подключить воздушную линию к измерительным портам модулей. Подключение проводить в соответствии с описанием, представленным в руководстве по эксплуатации на набор мер коэффициентов передачи и отражения. Провести в регламентируемых частотных точках измерения модуля коэффициента отражения в линейном масштабе (разы) и фазы коэффициента отражения в градусах при двух направлениях зондирования: прямом и обратном. При необходимости, для упрощения измерений можно использовать маркеры, реализованные в программном обеспечении. Определить абсолютные погрешности:

$$\Delta|S_{ii}^{\text{ИЗМ}}| = |S_{ii}^{\text{ИЗМ}}| - |S_{ii}^0| \quad \Delta\varphi(S_{ii}^{\text{ИЗМ}}) = \varphi(S_{ii}^{\text{ИЗМ}}) - \varphi(S_{ii}^0),$$

- где $\Delta|S_{ii}^{\text{ИЗМ}}|$ – погрешность измерений модуля коэффициента отражения;
 $|S_{ii}^{\text{ИЗМ}}|$ – измеренное значение модуля коэффициента отражения воздушной линии;
 $|S_{ii}^0|$ – действительное значение модуля коэффициента отражения воздушной линии;
 $\Delta\varphi(S_{ii}^{\text{ИЗМ}})$ – погрешность измерений фазы коэффициента отражения, градус;
 $\varphi(S_{ii}^{\text{ИЗМ}})$ – измеренное значение фазы коэффициента отражения воздушной линии, градус;
 $\varphi(S_{ii}^0)$ – действительное значение фазы коэффициента отражения воздушной линии, градус.
 i – номер порта, работающего в режиме источника сигнала.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 2, продолжение)

Вычислить пределы суммарной погрешности измерений модуля коэффициента отражения $\Delta|S_{ii}^{\Sigma}|$ в линейном масштабе (разы) и фазы коэффициента отражения $\Delta\varphi(S_{ii}^{\Sigma})$ в градусах:

$$\Delta|S_{ii}^{\Sigma}| = \sqrt{[\Delta|S_{ii}^A|]^2 + [\Delta|S_{ii}^0|]^2} \quad \Delta\varphi(S_{ii}^{\Sigma}) = \sqrt{[\Delta\varphi(S_{ii}^A)]^2 + [\Delta\varphi(S_{ii}^0)]^2},$$

где $\Delta|S_{ii}^A|$ – предел допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения;

$\Delta|S_{ii}^0|$ – предел абсолютной погрешности описания действительных значений модуля коэффициента отражения воздушной линии;

$\Delta\varphi(S_{ii}^A)$ – предел допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения, градус;

$\Delta\varphi(S_{ii}^0)$ – предел абсолютной погрешности описания действительных значений фазы коэффициента отражения воздушной линии, градус.

Пределы погрешности $\Delta|S_{ii}^A|$ и $\Delta\varphi(S_{ii}^A)$ рассчитываются по следующим формулам:

$$\Delta|S_{ii}^A| = Ed + (Er - 1) \cdot |S_{ii}^0| + Es \cdot |S_{ii}^0|^2 + El \cdot |S_{ji}^0| \cdot |S_{ij}^0|,$$

$$\Delta\varphi(S_{ii}^A) = 1,0 + \left(\frac{180}{\pi}\right) \cdot \arcsin\left(\frac{\Delta|S_{ii}^A|}{|S_{ii}^0|}\right),$$

где Ed – эффективная направленность;

Es – эффективное согласование источника;

El – эффективное согласование нагрузки;

Er – эффективный трекинг отражения;

$|S_{ii}^0|$ – действительное значение модуля коэффициента отражения воздушной линии;

$|S_{ji}^0|$ – действительное значение модуля коэффициента передачи воздушной линии (в прямом направлении);

$|S_{ij}^0|$ – действительное значение модуля коэффициента передачи воздушной линии (в обратном направлении).

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 2, *продолжение*)

По окончании расчёта проверить, что погрешности измерений модуля $\Delta|S_{ii}^{ИЗМ}|$ и фазы $\Delta\varphi(S_{ii}^{ИЗМ})$ коэффициента отражения не превышают пределы суммарной погрешности $\Delta|S_{ii}^{\Sigma}|$ и $\Delta\varphi(S_{ii}^{\Sigma})$ соответственно. В таблицу результатов измерений (или протокол) вносятся максимальные отклонения.

Эффективные параметры в тракте 1,85/0,8 мм

Диапазон частот	Ed	Es	El	$(Er-1)$
от 18 ГГц до 54 ГГц	0,020 (34 дБ)	0,032 (30 дБ)	0,020 (34 дБ)	0,022 (0,20 дБ)

Эффективные параметры в тракте 2,4/1,04 мм

Диапазон частот	Ed	Es	El	$(Er-1)$
от 18 ГГц до 36 ГГц	0,013 (38 дБ)	0,025 (32 дБ)	0,013 (38 дБ)	0,017 (0,15 дБ)
св. 36 ГГц до 50 ГГц	0,020 (34 дБ)	0,032 (30 дБ)	0,020 (34 дБ)	0,022 (0,20 дБ)

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 2, продолжение)

Настройки	
Команда	Установка
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
уровень выходной мощности	Стимул, Мощность, Мощность минус 10 дБм
полоса ПЧ	Стимул, Полоса ПЧ не более 1 кГц
количество точек	Стимул, Число точек [число точек]
Конфигурация сегментного сканирования (при необходимости)	
строка таблицы сегментов: старт и стоп количество точек полоса ПЧ	Стимул, Таблица сегментов [диапазон частот] [количество точек] не более 1 кГц
включение режима сегментного сканирования	Стимул, Тип сканирования, Сегментный
Калибровка	
выбор набора мер	Калибровка, Комплект мер [название набора]
выполнение калибровки	Калибровка, Калибровать, Полн. 2-порт.
Выбор измеряемого параметра	
выбор измеряемого параметра	Измерение (S-параметры)
формат отображения	Формат
Использование маркеров	
добавление маркера	Маркеры, Добавить маркер, F МГц

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи (метод 2)

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Набор калибровочных мер 08СК010-150	Тракт 1,85/0,8 мм Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик
Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85058V	Тракт 1,85/0,8 мм Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента передачи аттенюаторов $\pm 0,2$ дБ Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента передачи аттенюаторов ± 2 градуса
Набор калибровочных мер 09СК010-150	Тракт 2,4/1,04 мм Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик
Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85057B	Тракт 2,4/1,04 мм Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента передачи аттенюаторов $\pm 0,2$ дБ Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента передачи аттенюаторов ± 2 градуса
Кабель измерительный TESTPRO2	Амплитудно- и фазостабильный кабель СВЧ

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи
(метод 2, продолжение)

Погрешность измерений модуля коэффициента передачи	Нижний предел [дБ]	Измеренное значение [дБ]	Верхний предел [дБ]
A1 дБ			
диапазон частот ΔF_I			
...			
диапазон частот ΔF_N			
A2 дБ			
диапазон частот ΔF_I			
...			
диапазон частот ΔF_N			

Погрешность измерений фазы коэффициента передачи	Нижний предел [градус]	Измеренное значение [градус]	Верхний предел [градус]
A1 дБ			
диапазон частот ΔF_I			
...			
диапазон частот ΔF_N			
A2 дБ			
диапазон частот ΔF_I			
...			
диапазон частот ΔF_N			

A1 и A2 – коэффициенты передачи используемых аттенюаторов.

Диапазоны частот ΔF указаны в таблице с эффективными параметрами (см. ниже по тексту).

Пределы рассчитываются с учётом погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента передачи используемых аттенюаторов.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи
(метод 2, продолжение)

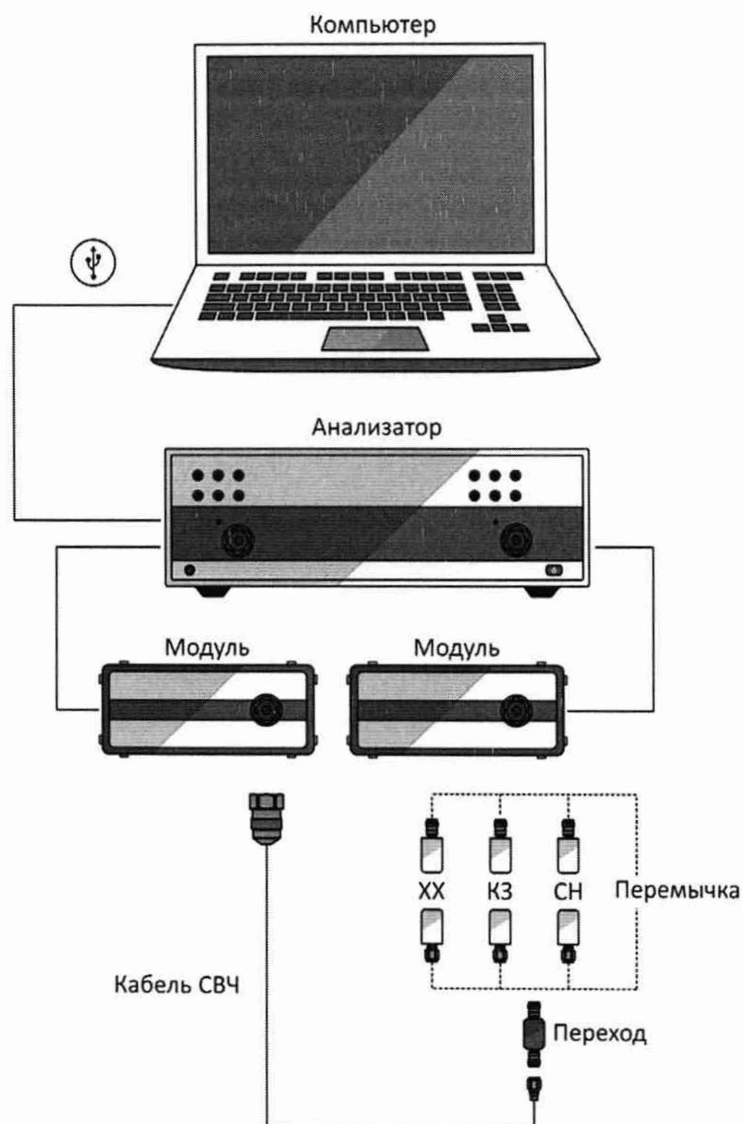


Рисунок А.11 – Схема измерений
(проведение полной двухпортовой «калибровки»)

Для улучшения повторяемости при подключении устройств рекомендуется использовать прецизионный переход.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи
(метод 2, продолжение)

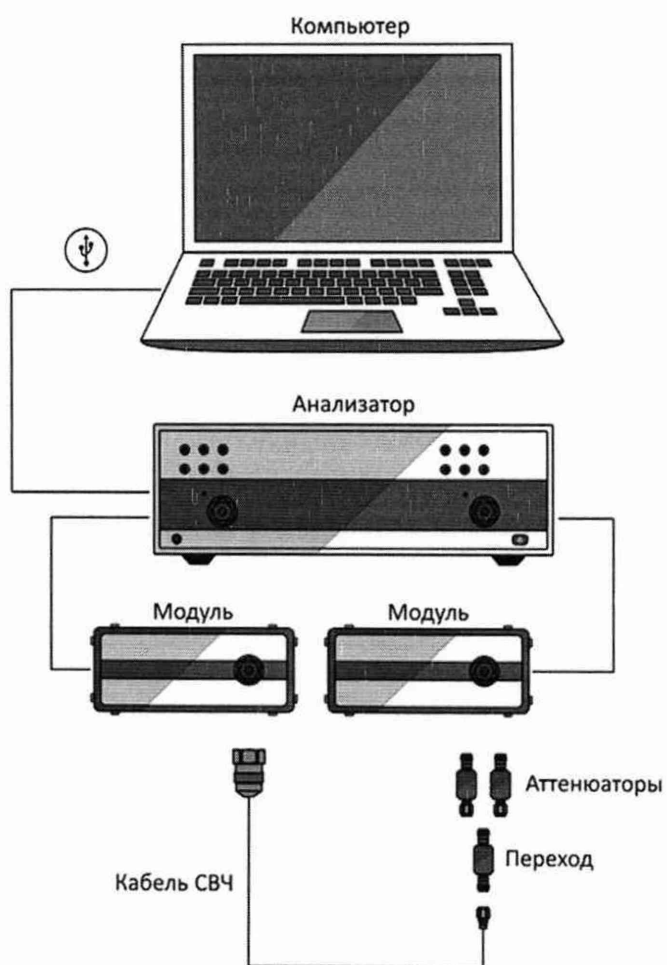


Рисунок А.12– Схема измерений
(измерение параметров аттенюаторов)

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи
(метод 2, продолжение)

Проведение измерений:

Установить параметры по умолчанию, уровень выходной мощности минус 10 дБм, полосу фильтра промежуточной частоты не более 100 Гц, диапазон частот от 18 до 54 ГГц в тракте 1,85/0,8 мм и от 18 до 50 ГГц в тракте 2,4/1,04 мм.

Измерения следует проводить на регламентируемых для аттенуаторов частотах (на частотах их описания). Для этого рекомендуется использовать сегментное сканирование.

После выполнения полной двухпортовой «калибровки» подключить аттенуатор к измерительным портам модулей. Провести в регламентируемых частотных точках измерения модуля коэффициента передачи в логарифмическом масштабе (дБ) и фазы коэффициента передачи в градусах при двух направлениях зондирования: прямом и обратном. При необходимости, для упрощения измерений можно использовать маркеры, реализованные в программном обеспечении. Определить абсолютные погрешности.

Индекс « ji » в нижеприведённых формулах будет относиться к прямому направлению зондирования, « ij » – к обратному. Далее по тексту будет представлен расчёт только для прямого направления в предположении, что для обратного он будет аналогичным.

$\Delta|S_{ji}^{ИЗМ}| = |S_{ji}^{ИЗМ}| - |S_{ji}^0|$, $\Delta\varphi(S_{ji}^{ИЗМ}) = \varphi(S_{ji}^{ИЗМ}) - \varphi(S_{ji}^0)$ (для прямого коэффициента передачи),

$\Delta|S_{ij}^{ИЗМ}| = |S_{ij}^{ИЗМ}| - |S_{ij}^0|$, $\Delta\varphi(S_{ij}^{ИЗМ}) = \varphi(S_{ij}^{ИЗМ}) - \varphi(S_{ij}^0)$ (для обратного коэффициента передачи),

где $\Delta|S_{ji}^{ИЗМ}|$ – погрешность измерений модуля коэффициента передачи, дБ;

$|S_{ji}^{ИЗМ}|$ – измеренное значение модуля коэффициента передачи аттенуатора, дБ;

$|S_{ji}^0|$ – действительное значение модуля коэффициента передачи аттенуатора, дБ;

$\Delta\varphi(S_{ji}^{ИЗМ})$ – погрешность измерений фазы коэффициента передачи, градус;

$\varphi(S_{ij}^{ИЗМ})$ – измеренное значение фазы коэффициента передачи аттенуатора, градус;

$\varphi(S_{ji}^0)$ – действительное значение фазы коэффициента передачи аттенуатора, градус.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи
(метод 2, продолжение)

Вычислить пределы суммарной погрешности измерений модуля коэффициента передачи $\Delta|S_{ji}^\Sigma|$ в дБ и фазы коэффициента передачи $\Delta\varphi(S_{ji}^\Sigma)$ в градусах:

$$\Delta|S_{ji}^\Sigma| = -20 \cdot \lg \left[1 - \sqrt{\left[1 - 10^{\frac{-\Delta|S_{ji}^A|}{20}} \right]^2 + \left[1 - 10^{\frac{-\Delta|S_{ji}^0|}{20}} \right]^2} \right],$$

$$\Delta\varphi(S_{ji}^\Sigma) = \sqrt{[\Delta\varphi(S_{ji}^A)]^2 + [\Delta\varphi(S_{ji}^0)]^2},$$

где $\Delta|S_{ji}^A|$ – предел допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи, дБ;

$\Delta|S_{ji}^0|$ – предел абсолютной погрешности описания действительных значений модуля коэффициента передачи аттенюатора, дБ;

$\Delta\varphi(S_{ji}^A)$ – предел допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи, градус;

$\Delta\varphi(S_{ji}^0)$ – предел абсолютной погрешности описания действительных значений фазы коэффициента передачи аттенюатора, градус.

Пределы погрешности $\Delta|S_{ji}^A|$ и $\Delta\varphi(S_{ji}^A)$ рассчитываются по следующим формулам:

$$\Delta|S_{ji}^A| = -20 \cdot \lg \left[1 - \left((Et - 1) + Es \cdot |S_{ii}^0| + El \cdot |S_{jj}^0| + Ex \cdot |S_{ji}^0|^{-1} \right) \right],$$

$$\Delta\varphi(S_{ji}^A) = 0,5 + \left(\frac{180}{\pi} \right) \cdot \arcsin \left((Et - 1) + Es \cdot |S_{ii}^0| + El \cdot |S_{jj}^0| + Ex \cdot |S_{ji}^0|^{-1} \right),$$

где Et – эффективный трекинг передачи;

Es – эффективное согласование источника;

El – эффективное согласование нагрузки;

Ex – изоляция (или максимальный уровень собственных шумов);

$|S_{ii}^0|$ и $|S_{jj}^0|$ – действительное значение модуля коэффициента отражения входа и выхода аттенюатора соответственно (в линейном масштабе);

$|S_{ji}^0|$ – действительное значение модуля коэффициента передачи аттенюатора (в линейном масштабе).

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи
(метод 2, продолжение)

По окончании расчёта проверить, что погрешности измерений модуля $\Delta|S_{ji}^{ИЗМ}|$ и фазы $\Delta\varphi(S_{ji}^{ИЗМ})$ коэффициента передачи не превышают пределы суммарной погрешности $\Delta|S_{ji}^{\Sigma}|$ и $\Delta\varphi(S_{ji}^{\Sigma})$ соответственно (для двух направлений зондирования). В таблицу результатов измерений (или протокол) вносятся максимальные отклонения.

Эффективные параметры в тракте 1,85/0,8 мм

Диапазон частот	E_s	E_l	(E_t-1)	E_x
от 18 ГГц до 36 ГГц	0,032 (30 дБ)	0,020 (34 дБ)	0,022 (0,20 дБ)	$3,2 \cdot 10^{-6}$
св. 36 ГГц до 50 ГГц	0,032 (30 дБ)	0,020 (34 дБ)	0,022 (0,20 дБ)	$1,0 \cdot 10^{-5}$
св. 50 ГГц до 54 ГГц	0,032 (30 дБ)	0,020 (34 дБ)	0,022 (0,20 дБ)	$1,0 \cdot 10^{-5}$

Эффективные параметры в тракте 2,4/1,04 мм

Диапазон частот	E_s	E_l	(E_t-1)	E_x
от 18 ГГц до 36 ГГц	0,025 (32 дБ)	0,013 (38 дБ)	0,012 (0,10 дБ)	$3,2 \cdot 10^{-6}$
св. 36 ГГц до 50 ГГц	0,032 (30 дБ)	0,020 (34 дБ)	0,022 (0,20 дБ)	$1,0 \cdot 10^{-5}$

Если измерения проводятся при полосе фильтра промежуточной частоты отличной от 1 Гц, то следует пересчитать параметр E_x , указанный в вышеприведённой таблице:

$$E_x = 10^{\frac{D+10 \cdot \lg \left[\frac{\Delta f_{ПЧ.М}}{\Delta f_{ПЧ.Н}} \right]}{20}}$$

где D – нижняя граница диапазона измерений модуля коэффициента передачи, дБ;

$\Delta f_{ПЧ.М}$ – ширина полосы пропускания фильтра промежуточной частоты при измерении, Гц;

$\Delta f_{ПЧ.Н}$ – номинальная ширина полосы пропускания фильтра промежуточной частоты, равная 1 Гц.

Нижняя граница диапазона измерений модуля коэффициента передачи при уровне выходной мощности минус 10 дБм и полосе фильтра промежуточной частоты 1 Гц:

минус 110 дБ от 18 до 36 ГГц;

минус 100 дБ св. 36 до 50 ГГц;

минус 100 дБ св. 50 до 54 ГГц.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи
(метод 2, продолжение)

Настройки	
Команда	Установка
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
уровень выходной мощности	Стимул, Мощность, Мощность минус 10 дБм
полоса ПЧ	Стимул, Полоса ПЧ не более 100 Гц
количество точек	Стимул, Число точек [число точек]
Конфигурация сегментного сканирования (при необходимости)	
строка таблицы сегментов: старт и стоп количество точек полоса ПЧ	Стимул, Таблица сегментов [диапазон частот] [количество точек] не более 100 Гц
включение режима сегментного сканирования	Стимул, Тип сканирования, Сегментный
Калибровка	
выбор набора мер	Калибровка, Комплект мер [название набора]
выполнение калибровки	Калибровка, Калибровать, Полн. 2-порт.
Выбор измеряемого параметра	
выбор измеряемого параметра	Измерение (S-параметры)
формат отображения	Формат
Использование маркеров	
добавление маркера	Маркеры, Добавить маркер, F МГц