

**C1205, C1207, C1209, C1214, C1220, C1409, C1420,
C2209, C2409, C2220, C2420, C4209, C4409, C4220, C4420**

**АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ ВЕКТОРНЫЕ
МЕТОДИКА ПОВЕРКИ**

РТ-МП-3531-441-2016





ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЙ В Г. МОСКВЕ»
(ФБУ «РОСТЕСТ – МОСКВА»)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель
генерального директора
ФБУ «Ростест-Москва»



Е.В. Морин

28 сентября 2016 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Анализаторы цепей векторные
С1205, С1207, С1209, С1214, С1220,
С1409, С1420,
С2209, С2409, С2220, С2420,
С4209, С4409, С4220, С4420

Методика поверки
РТ-МП-3531-441-2016
(РНДМ.468166.002 МП)

г. Москва
2016 г.

Содержание

1 Введение	3
2 Операции поверки	5
3 Средства поверки.....	7
4 Требования безопасности	13
5 Условия поверки	13
6 Подготовка к поверке	14
7 Проведение поверки	15
8 Оформление результатов поверки	40
Приложение А (справочное) Схемы измерений.....	41

1 Введение

1.1 Настоящая методика устанавливает методы и средства первичной и периодической поверки анализаторов цепей векторных С1205, С1207, С1209, С1214, С1220, С1409, С1420, С2209, С2409, С2220, С2420, С4209, С4409, С4220, С4420 производства ООО «ПЛАНАР» г. Челябинск (далее – анализаторы), предназначенных для измерений комплексных коэффициентов передачи и отражения (элементов матрицы рассеяния) многополюсников. Анализаторы отличаются друг от друга верхней границей диапазона рабочих частот, количеством измерительных портов, расположенных на передней панели, наличием соединителей для прямого доступа к входам измерительных и опорных приемников, а также наличием соединителей для подключения расширителей по частоте. Функциональные особенности перечислены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

Анализатор	Диапазон рабочих частот	Коаксиальный волновод соединителей измерительных портов
Двухпортовые приборы		
С1205	от 100 кГц до 4,8 ГГц	7,0/3,04 мм
С1207	от 100 кГц до 7 ГГц	7,0/3,04 мм
С1209	от 100 кГц до 9 ГГц	7,0/3,04 мм
С1214	от 100 кГц до 14 ГГц	7,0/3,04 мм
С1220	от 100 кГц до 20 ГГц	3,5/1,52 мм
Четырехпортовые приборы		
С1409	от 100 кГц до 9 ГГц	7,0/3,04 мм
С1420	от 100 кГц до 20 ГГц	3,5/1,52 мм
Приборы с переключками для прямого доступа к приемникам		
С2209	от 100 кГц до 9 ГГц (2 порта)	7,0/3,04 мм
С2409	от 100 кГц до 9 ГГц (4 порта)	7,0/3,04 мм
С2220	от 100 кГц до 20 ГГц (2 порта)	3,5/1,52 мм

Анализатор	Диапазон рабочих частот	Коаксиальный волновод соединителей измерительных портов
C2420	от 100 кГц до 20 ГГц (4 порта)	3,5/1,52 мм
Приборы с переключками для подключения расширителей по частоте		
C4209	от 100 кГц до 9 ГГц (2 порта)	7,0/3,04 мм
C4409	от 100 кГц до 9 ГГц (4 порта)	7,0/3,04 мм
C4220	от 100 кГц до 20 ГГц (2 порта)	3,5/1,52 мм
C4420	от 100 кГц до 20 ГГц (4 порта)	3,5/1,52 мм

Анализаторы работают под управлением внешнего персонального компьютера.

1.2 Методика поверки разработана с учётом требований и рекомендаций, приведённых в МИ 3411-2013.

1.3 Поверка анализаторов производится аккредитованными в установленном порядке в области обеспечения единства измерений юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

1.4 Интервал между поверками – 12 месяцев.

1.5 Перед проведением поверки необходимо ознакомиться с указаниями, изложенными в руководстве по эксплуатации на анализаторы.

1.6 После проведения поверки необходимо выполнить визуальный контроль чистоты и целостности всех соединителей, расположенных на передней панели анализаторов. В случае обнаружения посторонних частиц провести чистку соединителей.

2 Операции поверки

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

Т а б л и ц а 2

Наименование операции	Методы поверки (номер пункта)	Обязательность проведения при поверке	
		первичной	периодической
Проверка внешнего вида	7.2	да	да
Проверка присоединительных размеров	7.3	да	да
Определение метрологических характеристик			
Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	7.4	да	да
Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности	7.5	да	да
Определение среднего квадратического отклонения трассы	7.6	да	да
Проверка уровня собственного шума приёмников	7.7	да	да
Определение нескорректированных параметров	7.8	да	да
Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения	7.9	да	да

2.2 В случае выявления несоответствия требованиям в ходе выполнения любой операции, указанной в таблице 2, поверяемый анализатор бракуют, поверку прекращают, и на него оформляют извещение о непригодности установленного образца.

2.3 Допускается поверка анализаторов в частотном диапазоне их применения. Если прибор используется для измерений модуля и фазы коэффициентов передачи или отражения, то допускается проводить поверку только в том режиме, в котором он применяется.

2.4 Определение погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения для анализаторов в волноводе с сечением, отличающимся от измерительных портов, следует проводить в соответствии с МИ 3411-2013.

Если вычисленные погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения меньше значений, приведённых в эксплуатационной документации, то за погрешность измерений следует принять указанную в документации. В обратном случае нужно использовать рассчитанные согласно МИ 3411-2013 значения.

Для выполнения измерений состав анализатора должен быть дополнен комплектом измерительных переходов и набором калибровочных мер с соединителями в новом типе волновода.

3 Средства поверки

3.1 При проведении поверки следует применять средства поверки, указанные в таблицах 3 и 4.

Т а б л и ц а 3 – Средства поверки анализаторов (коаксиальный волновод соединителей измерительных портов 7,0/3,04 мм)

Номер пункта методики	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, требуемые технические и метрологические характеристики средства поверки
7.3	Комплект для измерений соединителей коаксиальных (КИСК - 7): - пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений присоединительных размеров $\pm 0,01$ мм.
7.4	Частотомер электронно-счётный (53150А, опция 001, Keysight Technologies): - диапазон частот от 10 Гц до 20 ГГц; - пределы относительной погрешности по частоте кварцевого генератора за один год $\pm 5 \cdot 10^{-7}$.
7.5	Преобразователь измерительный (NRP-Z51, Rohde & Schwarz): - диапазон измерений мощности от -30 до 20 дБм; - пределы допускаемой относительной погрешности измерений мощности ± 6 %.
7.6, 7.8, 7.9	Набор калибровочных мер (05СК010-150, Rosenberger): - обеспечиваемые эффективные параметры анализаторов после «калибровки» в диапазоне частот до 10 ГГц и свыше 10 до 18 ГГц ¹⁾ : направленность 46 и 42 дБ трекинг отражения 0,05 и 0,10 дБ согласование источника 40 и 38 дБ трекинг передачи 0,05 и 0,05 дБ согласование нагрузки 46 и 42 дБ - меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик ²⁾ .

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».

²⁾ Под табличным описанием следует понимать набор (таблицу) значений комплексного коэффициента отражения меры (нагрузки) в диапазоне рабочих частот.

Номер пункта методики	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, требуемые технические и метрологические характеристики средства поверки
7.9	Набор мер коэффициентов передачи и отражения (ZV-Z270, Rohde & Schwarz): - пределы допускаемой погрешности определения действительных значений: модуля коэффициента отражения $\pm(0,003\dots 0,010)$ фазы коэффициента отражения $\pm(0,5\dots 0,8)$ градусов модуля коэффициента передачи $\pm(0,03\dots 0,05)$ дБ фазы коэффициента передачи $\pm(0,3\dots 0,5)$ градусов - меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик.
7.9	Набор мер коэффициентов передачи и отражения (85055A, Keysight Technologies): - пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента передачи аттенюаторов $\pm 0,1$ дБ и ± 1 градус; - пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом от $\pm 0,008$ до $\pm 0,016$ (линейный масштаб) и от $\pm 1,5$ до $\pm 10,0$ градусов.
7.9	Аттенюатор 40 дБ (05AS122-K40S3, Rosenberger): - пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента передачи $\pm 0,1$ дБ и ± 1 градус.
7.9	Нагрузка короткозамкнутая (05S12S-000S3, Rosenberger): - тип соединителя N, вилка; - пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения $\pm 0,010$ и $\pm 0,8$ градусов.
7.9	Набор нагрузок с номинальными значениями K_{cmU} (КСВН) 1,0; 1,1 (1,2); и 2,0: - тип соединителя N, вилка; - пределы относительной погрешности определения КСВН не более: $1,0 \cdot K_{cmU} \%$ в диапазоне частот до 10 ГГц; $1,5 \cdot K_{cmU} \%$ в диапазоне частот свыше 10 ГГц.
Вспомогательные средства поверки	
7.7	Нагрузки согласованные (05S150-C10S3, Rosenberger): - тип соединителя N, вилка; - КСВН не более 1,1. Количество нагрузок, требуемых для поверки, соответствует количеству измерительных портов анализатора.

Номер пункта методики	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, требуемые технические и метрологические характеристики средства поверки
7.4, 7.6, 7.8 - 7.9	Кабель измерительный (TESTPRO3, Radiall): - тип соединителей N, вилка. Кабель должен быть амплитудно- и фазостабильным. Для подключения к портам анализатора следует использовать переходы коаксиальные тип N, розетка – N, вилка.
7.4	Переходы коаксиальные: - BNC, вилка – N, розетка; - 3,5 мм, вилка – N, розетка.
7.4 - 7.9	Ключ тарированный: - значение крутящего момента от 1,1 до 1,7 Н·м.
7.4 - 7.9	Ключи гаечные (поддерживающие): - в соответствии с пазами подключаемых устройств.
7.1- 7.9	Персональный компьютер со следующими минимальными требованиями: - операционная система Windows 7 и выше; - наличие соединителя USB 2.0.
<p>Примечания:</p> <p>1 Применяемые при поверке средства измерений должны быть поверены и иметь действующие свидетельства о поверке. Допускается использовать средства измерений, калиброванные на эталоне волнового сопротивления, аттестованном в установленном порядке.</p> <p>2 Допускается применение иных средств измерений, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых анализаторов с требуемой точностью.</p>	

Т а б л и ц а 4 – Средства поверки анализаторов (коаксиальный волновод соединителей измерительных портов 3,5/1,52 мм)

Номер пункта методики	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, требуемые технические и метрологические характеристики средства поверки
7.3	Комплект для измерений соединителей коаксиальных (КИСК - 3,5): - пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений присоединительных размеров $\pm 0,01$ мм.
7.4	Частотомер электронно-счётный (53150A, опция 001, Keysight Technologies): - диапазон частот от 10 Гц до 20 ГГц; - пределы относительной погрешности по частоте кварцевого генератора за один год $\pm 5 \cdot 10^{-7}$.
7.5	Преобразователь измерительный (NRP-Z55, Rohde & Schwarz): - диапазон измерений мощности от -30 до 20 дБм; - пределы допускаемой относительной погрешности измерений мощности ± 10 %.
7.6, 7.8, 7.9	Набор калибровочных мер (03СК010-150, Rosenberger): - обеспечиваемые эффективные параметры анализаторов после «калибровки» в диапазоне частот до 10 ГГц и свыше 10 до 20 ГГц: направленность 46 и 42 дБ трекинг отражения 0,05 и 0,10 дБ согласование источника 40 и 38 дБ трекинг передачи 0,05 и 0,05 дБ согласование нагрузки 46 и 42 дБ - меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик.
7.9	Набор мер коэффициентов передачи и отражения (ZV-Z235, Rohde & Schwarz): - пределы допускаемой погрешности определения действительных значений: модуля коэффициента отражения $\pm(0,005 \dots 0,014)$ фазы коэффициента отражения $\pm(0,8 \dots 1,5)$ градусов модуля коэффициента передачи $\pm(0,05 \dots 0,08)$ дБ фазы коэффициента передачи $\pm(0,5 \dots 1,0)$ градусов - меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик.

Номер пункта методики	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, требуемые технические и метрологические характеристики средства поверки
7.9	Набор мер коэффициентов передачи и отражения (85053B, Keysight Technologies): - пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента передачи аттенуаторов $\pm 0,1$ дБ и ± 1 градус; - пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом от $\pm 0,008$ до $\pm 0,016$ (линейный масштаб) и от $\pm 1,5$ до $\pm 10,0$ градусов.
7.9	Аттенуатор 40 дБ (03AS122-K40S3, Rosenberger): - пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента передачи $\pm 0,1$ дБ и ± 1 градус.
7.9	Нагрузка короткозамкнутая (03K12S-000S3, Rosenberger): - тип соединителя 3,5 мм, розетка; - пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения $\pm 0,010$ и $\pm 0,8$ градусов.
7.9	Набор нагрузок с номинальными значениями K_{cmU} (КСВН) 1,0; 1,1 (1,2); и 2,0: - тип соединителя 3,5 мм, розетка; - пределы относительной погрешности определения КСВН не более: $1,0 \cdot K_{cmU} \%$ в диапазоне частот до 10 ГГц; $1,5 \cdot K_{cmU} \%$ в диапазоне частот свыше 10 ГГц.
Вспомогательные средства поверки	
7.7	Нагрузки согласованные (03K150-C10S3, Rosenberger): - тип соединителя 3,5 мм, розетка; - КСВН не более 1,1. Количество нагрузок, требуемых для поверки, соответствует количеству измерительных портов анализатора.
7.4, 7.6, 7.8 - 7.9	Кабель измерительный (TESTPRO3, Radiall): - тип соединителей 3,5 мм, вилка. Кабель должен быть амплитудно- и фазостабильным. Для подключения к портам анализатора следует использовать переходы коаксиальные 3,5 мм, розетка – 3,5 мм, розетка.
7.4	Переход коаксиальный: - BNC, вилка – 3,5 мм, розетка.

Номер пункта методики	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки, требуемые технические и метрологические характеристики средства поверки
7.4 - 7.9	Ключ тарированный: - значение крутящего момента от 0,8 до 1,0 Н·м.
7.4 - 7.9	Ключи гаечные (поддерживающие): - в соответствии с пазами подключаемых устройств.
7.1- 7.9	Персональный компьютер со следующими минимальными требованиями: - операционная система Windows 7 и выше; - наличие соединителя USB 2.0.
<p>Примечания :</p> <p>1 Применяемые при поверке средства измерений должны быть поверены и иметь действующие свидетельства о поверке. Допускается использовать средства измерений, калиброванные на эталоне волнового сопротивления, аттестованном в установленном порядке.</p> <p>2 Допускается применение иных средств измерений, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемых анализаторов с требуемой точностью.</p> <p>3 Средства, перечисленные в таблице, должны обеспечивать проведение поверки анализаторов в диапазоне частот до 20 ГГц.</p>	

4 Требования безопасности

4.1 При проведении поверки необходимо соблюдать «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» и правила охраны труда.

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

4.3 На рабочем месте должны быть приняты меры по обеспечению защиты от воздействия статического электричества.

4.4 Для исключения сбоев в работе измерения необходимо производить при отсутствии резких перепадов напряжения питания сети, вызываемых включением и выключением мощных потребителей электроэнергии и мощных импульсных помех.

5 Условия поверки

5.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха.....(23 ± 5) °С;
- относительная влажность воздуха не более 80 %;
- атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа.

6 Подготовка к поверке

6.1 Убедиться в выполнении условий проведения поверки.

6.2 Выдержать анализатор в выключенном состоянии в условиях проведения поверки не менее двух часов, если он находился в отличных от них условиях.

6.3 Провести визуальный контроль чистоты и целостности соединителей используемых средств «калибровки» анализатора. 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.

6.4 Если набор калибровочных мер (пользовательский набор) имеет отличные от указанных в таблицах 3 и 4 значения обеспечиваемых эффективных параметров, то следует вычислить пределы погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения (см. приложение А).

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

7 Проведение поверки

7.1 Общие сведения

7.1.1 Поверка анализаторов 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 преимущественно ориентировано на работу в автоматическом режиме. Приложение А конкретизирует проведение измерений вручную.

Т а б л и ц а 5

Проверка в <i>VNA Performance Test</i>	Номер пункта	Режим измерений
Внешний осмотр	7.2	Автоматический, ручной
Проверка присоединительных размеров	7.3	Автоматический, ручной
Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	7.4	Автоматический, ручной
Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности	7.5	Автоматический, ручной
Определение среднего квадратического отклонения трассы	7.6	Автоматический, ручной
Определение уровня собственного шума приемников	7.7	Автоматический, ручной
Определение нескорректированных параметров	7.8	Автоматический, ручной
Определение погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения, нескорректированных параметров и уровня собственного шума приемников	7.9 (Метод 1)	Автоматический
Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения	7.9 (Метод 2)	Автоматический, ручной
Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи	7.9 (Метод 2)	Автоматический, ручной
Определение нескорректированных параметров, погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения	7.9 (Метод 3)	Автоматический
Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения	7.9 (Метод 4)	Ручной

7.1.2 Программное обеспечение *VNA Performance Test* содержит все необходимые инструкции и схемы измерений. Программа автоматически устанавливает параметры анализатора, 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 прибора.

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 7.9 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 7.9 программное обеспечение позволяет учитывать погрешность средств поверки, включая используемые наборы мер.

7.1.3 Ручной метод может быть использован при поверке анализаторов с ограничениями, представленными в пункте 2.3. Описание измерений приведено в приложении А.

В этом случае поверитель может самостоятельно назначать контролируемые точки или диапазоны, не противоречащие указанным в настоящем документе. Произвольно менять оговорённые настройки анализаторов не допускается.

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

Результаты поверки считают положительными, если определённые значения параметров анализатора соответствуют установленным на него требованиям. В противном случае, прибор бракуют.

7.1.4 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.

7.1.5 Для запуска *VNA Performance Test* необходимо выполнить следующие действия:

- подключить анализатор к персональному компьютеру (ПК) с помощью кабеля USB;
- установить драйвер и программное обеспечение *S2VNA* для управления двухпортовыми анализаторами или *S4VNA* - четырехпортовыми с USB flash накопителя из состава поверяемого прибора, если они не были ранее установлены, и зарегистрировать COM сервер;

ВНИМАНИЕ! Регистрация COM сервера необходима для надёжного соединения *VNA Performance Test* со штатным (управляющим) программным обеспечением анализатора. Ее необходимо выполнять для каждой версии штатного программного обеспечения на последнем шаге установки. Если в настоящий момент неизвестно, была ли проведена регистрация COM сервера, рекомендуется переустановить штатное программное обеспечение, обратив особое внимание на процедуру регистрации.

- запустить программное обеспечение;
- проверить, чтобы через несколько секунд в строке состояния программного обеспечения индицировалась надпись «Готов»;
- установить программное обеспечение *VNA Performance Test*, если оно не было ранее установлено;
- запустить программное обеспечение *VNA Performance Test*, программа должна автоматически определить прибор, подключенный к ПК; при необходимости, нажать кнопку «Обновить»;
- ввести имя файла протокола (при необходимости) и персональные данные пользователя;
- выбрать из списка анализатор и нажать кнопку «Выполнить»;
- в появившемся диалоговом окне выбрать метод в зависимости от применяемых средств поверки (см. пункт 7.9);
- на главной странице проверить тип и номер анализатора;
- проверить параметры набора калибровочных мер (пользовательского набора);
- выбрать требуемый пункт поверки;
- для установления рабочего режима выдержать анализатор во включенном состоянии не менее 40 мин;

П р и м е ч а н и е – Если появится сообщение об ошибке или надпись в строке состояния «Не готов», необходимо закрыть программное обеспечение, проверить надёжность подключения кабеля USB и правильность установки драйвера, выключить и через одну минуту включить питание прибора, дождаться появления статуса «Готов», обновить информацию на стартовой странице *VNA Performance Test*.

7.1.6 Порядок подключения анализатора к ПК, установки драйвера и программного обеспечения, управления и дополнительная информация приведены в руководстве по эксплуатации.

7.1.7 Поверку продолжают в случае, если программное обеспечение загружается, в строке состояния индицируется надпись «Готов», *VNA Performance Test* запускается корректно, не появляются сообщения об ошибках.

7.2 Проверка внешнего вида

7.2.1 Выбрать пункт «Внешний осмотр». Заполнить таблицу, указанную в программном обеспечении, последовательно выполняя нижеперечисленные пункты.

7.2.2 Сверить комплектность поверяемого анализатора с данными, приведёнными в эксплуатационной документации на него.

7.2.3 Провести визуальный контроль чистоты всех соединителей анализатора, включая переключки при их наличии. В случае обнаружения посторонних частиц провести чистку соединителей (см. приложение А).

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРИМЕНЯТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПРЕДМЕТЫ ДЛЯ ЧИСТКИ СОЕДИНИТЕЛЕЙ.

7.2.4 Проверить отсутствие механических повреждений (вмятин, забоин, отслаивания покрытия и т. д.) на контактных и токонесущих поверхностях соединителей измерительных портов.

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

П р и м е ч а н и е - К механическим повреждениям относятся глубокие царапины, деформации на рабочих поверхностях центрального или внешнего проводников соединителей, вмятины на корпусе прибора, а также другие повреждения, непосредственно влияющие на технические характеристики.

7.2.6 Провести визуальный контроль целостности переключек (при наличии), кабеля питания и кабеля USB.

7.2.7 Результаты проверки считать положительными, если:

- комплектность соответствует приведённой в эксплуатационной документации;
- отсутствуют механические повреждения соединителей;
- отсутствуют глубокие царапины и вмятины на корпусе анализатора;
- 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;
- переключки (при наличии), кабели питания и USB не имеют повреждений.

7.3 Проверка присоединительных размеров

7.3.1 Выбрать пункт «Проверка присоединительных размеров».

7.3.2 Проверку присоединительных размеров проводить с применением комплектов для измерений соединителей коаксиальных в соответствии с указаниями эксплуатационной документации на них.

7.3.3 Проверке подлежит присоединительный размер «А» соединителей всех портов анализатора, входов (выходов) REF, SOURCE, MEAS (для анализаторов C2209, C2409, C2220, C2420), LO, A, B, R, T (для анализаторов C4209, C4220, C4409, C4420) и переключек (для анализаторов C2209, C2409, C2220, C2420, C4209, C4220, C4409, C4420). Тип соединителей приведён в таблице 6. Размер «А» показан на рисунках в приложении А.

Т а б л и ц а 6

Анализатор	Тип соединителей измерительных портов (соединителей для подключения переключек / соединителей переключек)
C1205, C1207, C1209, C1409, C1214	тип N, розетка
C2209, C2409, C4209, C4409,	тип N, розетка (3,5 мм, розетка / SMA, вилка)
C1220, C1420	NMD 3,5 мм, вилка
C2220, C2420, C4220, C4420	NMD 3,5 мм, вилка (3,5 мм, розетка / SMA, вилка)

7.3.4 Заполнить таблицу, указанную в программном обеспечении. Для соединителей 3,5 мм, розетка и SMA, вилка следует вносить максимальные значения.

7.3.5 Результаты проверки считать положительными, если присоединительные размеры находятся в пределах, указанных в таблице 7:

Т а б л и ц а 7

Тип соединителя	Присоединительный размер «А»
тип N, розетка	от 5,18 до 5,26 мм
NMD 3,5 мм, вилка	от минус 0,08 до 0,00 мм
3,5 мм, розетка	от минус 0,20 до 0,00 мм
SMA, вилка	от минус 0,20 до 0,00 мм (до диэлектрика)

Определение метрологических характеристик

7.4 Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала

7.4.1 Проверку относительной погрешности установки частоты проводить с помощью частотомера электронно-счётного (далее – частотомер).

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

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

7.4.4 Подключить частотомер к первому порту анализатора (в зависимости от модели анализатора и измеряемой выходной частоты, следует использовать переходы коаксиальные и кабели измерительные (далее – кабель СВЧ), позволяющие подключить прибор к одному из входов частотомера; перечень необходимых средств измерений приведён в таблицах 3 и 4).

7.4.5 Измерить частоты выходного сигнала в Гц с помощью частотомера, последовательно нажимая программные кнопки, на которых указаны значения контролируемых частот. Измерения проводят для трех-пяти произвольно выбранных частот в начале, середине и конце диапазона рабочих частот анализатора.

7.4.6 Зафиксировать результаты, данные занести в таблицу.

7.4.7 Проверить, что измеренные значения находятся в пределах, указанных в таблице.

7.4.8 Для анализаторов с четырьмя портами повторить измерения, подключив частотомер к третьему порту.

7.4.9 Результаты проверки считать положительными, если относительная погрешность установки частоты выходного сигнала находится в пределах $\pm 2 \cdot 10^{-6}$ (выполняется 7.4.7) в диапазоне рабочих частот прибора (см. таблицу 8).

Т а б л и ц а 8

Анализатор	Диапазон рабочих частот
C1205	от 100 кГц до 4,8 ГГц
C1207	от 100 кГц до 7 ГГц
C1209, C1409, C2209, C2409, C4209, C4409	от 100 кГц до 9 ГГц
C1214	от 100 кГц до 14 ГГц
C1220, C1420, C2220, C2420, C4220, C4420	от 100 кГц до 20 ГГц

7.5 Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности

7.5.1 Проверку относительной погрешности установки уровня выходной мощности проводить с помощью преобразователя измерительного (далее – ваттметр). Уровень мощности следует контролировать на выходе каждого измерительного порта.

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

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

7.5.4 Подключить ваттметр к измерительному порту анализатора, 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».

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

7.5.6 Провести измерения выходной мощности 0 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 (Система > Настройки > Настройки измерителя мощности). Для автоматического заполнения строки 0 дБм следует нажать кнопку «Измерение 0 дБм в автоматическом режиме».

7.5.7 Не отключая ваттметр от порта анализатора, нажать кнопку «Измерение мощности» для измерения других уровней мощности с помощью внутреннего приёмника. Диапазоны рабочих частот и установки уровня выходной мощности для каждого анализатора приведены в таблице 9.

7.5.8 Проверить, что относительная погрешность установки уровня выходной мощности во всех контролируемых точках находится в пределах $\pm 1,5$ дБ.

Т а б л и ц а 9

Анализатор	Диапазон рабочих частот	Диапазон установки уровня выходной мощности
C1205	от 100 кГц до 4,8 ГГц	от минус 60 до плюс 10 дБм
C1207	от 100 кГц до 7 ГГц	от минус 60 до плюс 15 дБм
C1209, C1409, C2209, C2409, C4209, C4409	от 100 кГц до 9 ГГц	от минус 60 до плюс 15 дБм
C1214	от 100 кГц до 14 ГГц	от минус 60 до плюс 10 дБм
C1220, C1420, C2220, C2420, C4220, C4420	от 100 кГц до 20 ГГц	от минус 60 до плюс 10 дБм

7.5.9 Аналогичным образом провести измерения для остальных измерительных портов анализатора.

7.5.10 Результаты проверки считать положительными, если относительная погрешность установки уровня выходной мощности находится в пределах $\pm 1,5$ дБ.

7.6 Определение среднего квадратического отклонения трассы

7.6.1 Выбрать пункт «Определение среднего квадратического отклонения трассы».

7.6.2 Подключить к порту 1 анализатора нагрузку короткозамкнутую (или нагрузку холостого хода) из состава набора калибровочных мер.

7.6.3 Выполнить измерение, нажав программную кнопку «S11».

7.6.4 Повторить измерение, последовательно подключая нагрузку к остальным портам анализатора и нажимая кнопки «S22», а также «S33» и «S44» для приборов с четырьмя измерительными портами.

7.6.5 Отключить нагрузку короткозамкнутую от анализатора. Подключить кабель СВЧ между первым и вторым портами. Выполнить измерение, нажав программную кнопку «S21», а затем «S12». Во время измерения кабель СВЧ должен быть неподвижным.

7.6.6 Для приборов с четырьмя измерительными портами, подключить кабель СВЧ между третьим и четвертым портами. Выполнить измерение, поочередно нажав программные кнопки «S43» и «S34».

7.6.7 По окончании отсоединить кабель СВЧ от портов анализатора.

7.6.8 Результаты проверки считать положительными, если среднее квадратическое отклонение всех трасс не превышает нижеперечисленных значений.

- для анализаторов C1205, C1207, C1209, C1409, C2209, C2409, C4209, C4409:

0,005 дБ..... от 100 кГц до 1 МГц;

0,001 дБ..... свыше 1 МГц до верхней границы.

- для анализаторов C1214, C1220, C1420, C2220, C2420, C4220, C4420:

0,020 дБ..... от 100 кГц до 1 МГц;

0,001 дБ..... свыше 1 МГц до верхней границы.

7.7 Проверка уровня собственного шума приёмников

Проверка проводится совместно с определением абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения при работе в автоматическом режиме по методу 1.

7.7.1 Выбрать пункт «Определение уровня собственного шума приемников».

7.7.2 Подключить нагрузки согласованные к измерительным портам анализатора.

7.7.3 Выполнить измерение, нажав программную кнопку «Измерить».

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

7.7.5 Результаты проверки считать положительными, если уровни собственного шума приемников не превышают нижеперечисленных значений:

- для анализаторов C1205, C1207, C1209, C1409, C2209, C2409, C4209, C4409:

минус 100 дБм/Гц..... от 100 кГц до 1 МГц;

минус 143 дБм/Гц..... свыше 1 МГц до 8 ГГц;

минус 133 дБм/Гц..... свыше 8 ГГц до верхней границы.

- для анализаторов C1214, C1220, C1420, C4220, C4420:

минус 110 дБм/Гц..... от 100 кГц до 1 МГц;

минус 133 дБм/Гц..... свыше 1 МГц до верхней границы.

- для анализаторов C2220, C2420:

минус 110 дБм/Гц..... от 100 кГц до 1 МГц;

минус 130 дБм/Гц..... свыше 1 МГц до верхней границы.

7.8 Определение нескорректированных параметров

Проверка проводится совместно с определением абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения при работе в автоматическом режиме по методам 1 или 3.

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

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

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

7.8.4 Выполнить полную двухпортовую «калибровку» с неизвестной перемычкой в соответствии с руководством по эксплуатации на анализатор. «Калибровка» осуществляется путем последовательного подключения мер к измерительным портам. В качестве неизвестной перемычки следует использовать кабель СВЧ.

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

7.8.6 Для приборов с четырьмя измерительными портами повторить измерения, нажав программную кнопку «SOLR калибровка. Порт 3 и 4».

7.8.7 Результаты проверки считать положительными, если параметры измерительных портов не менее значений, указанных в таблице 10.

¹⁾ В программном обеспечении для проверки двухпортовых приборов название кнопок может не содержать информацию о портах.

Т а б л и ц а 1 0

Диапазон частот	Направленность [дБ]	Согласование источника [дБ]	Согласование нагрузки [дБ]
С1205, С1207, С1209, С1409, С4209, С4409			
от 100 кГц до 1 МГц	12	12	12
св. 1 МГц до верхней границы	18	20	20
С2209, С2409			
от 100 кГц до 1 МГц	12	12	12
св. 1 МГц до верхней границы	15	15	15
С1214, С1220, С1420, С2220, С2420, С4220, С4420			
от 100 кГц до 1 МГц	10	10	10
св. 1 МГц до 10 ГГц	20	15	15
св. 10 ГГц до верхней границы	15	15	15

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

Определение погрешности может быть выполнено с применением нескольких методов:

- *Метод 1 (метод сравнения)*: с использованием эталонного набора калибровочных мер (набора мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z270 или ZV-Z235);

- *Метод 2 (прямой)*: с использованием верификационного набора мер (набора мер коэффициентов передачи и отражения 85055А или 85053В);

- *Метод 3 (прямой)*: при помощи фиксированного аттенюатора, с ослаблением не менее 30 дБ, и нагрузки короткозамкнутой со смещением с известными метрологическими характеристиками;

- *Метод 4 (прямой)*: при помощи отдельных мер коэффициентов отражения с известными метрологическими характеристиками, таких как нагрузки согласованные, рассо-

гласованные и (или) полного отражения, параметры которых отличаются от мер при «калибровке» прибора.

Первые три метода реализованы в программном обеспечении *VNA Performance Test*. Программа позволяет определять отдельно или совместно погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения. Для сокращения количества аттенуаторов при поверке и имитации измерений в широком диапазоне коэффициента передачи в методе 3 измерения выполняются при двух уровнях выходной мощности.

Метод 4 предназначен для определения погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения в ручном режиме.

С помощью прямых методов определяются абсолютные погрешности путем сравнения измеренных и действительных значений параметров устройств, указанных в таблице 11, в регламентируемых для них частотных точках.

Т а б л и ц а 1 1

	Метод 1	Метод 2	Метод 3	Метод 4
Тип	Метод сравнения	Прямой	Прямой	Прямой
Режим измерений	Автоматический	Ручной Автоматический	Автоматический	Ручной
Уровень выходной мощности	Номинальный	Номинальный	Номинальный и смещенный на 20 дБ	Номинальный
Определение погрешности модуля и фазы коэффициента отражения	Калибровочные меры	Отрезок коаксиального волновода 25 Ом	Нагрузка короткозамкнутая	Нагрузки согласованные, рассогласованные и (или) полного отражения
Определение погрешности модуля и фазы коэффициента передачи	Калибровочные меры	Аттенюаторы 20, 40 дБ (или 50 дБ)	Аттенюатор 40 дБ	—
Метод 2: Допускается вместо отрезка коаксиального волновода 25 Ом использовать двухпортовое устройство T-check. Программное обеспечение <i>VNA Performance Test</i> позволяет выбирать ослабление аттенюаторов до начала проверки в зависимости применяемых средств.				

Методика измерений, основанная на методе сравнения калибровок, представлена в МИ 3411-2013. Она позволяет определять отдельные составляющие погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения, и включает проверку уровня собственного шума приемников и нескорректированных параметров измерительных портов.

Принцип метода состоит в последовательном проведении двух «калибровок» одного и того же анализатора с помощью двух разных средств (эталонного и пользовательского наборов мер) и поэлементном сравнении полученных данных.

В качестве эталонного набора следует использовать набор мер коэффициентов передачи и отражения, в качестве пользовательского - набор калибровочных мер. Все средства измерений указаны в таблицах 3 и 4. Перед началом работы рекомендуется проверить описание наборов (всех используемых мер из состава), занесённое в программное обеспечение анализатора, с указанным в документации. Если описание в программном обеспечении отсутствует, его необходимо внести.

Определение погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения для анализаторов в волноводе с сечением, отличающимся от измерительных портов, следует проводить в соответствии с МИ 3411-2013, после проверки нескорректированных параметров. Нескорректированные параметры анализаторов должны быть определены непосредственно на выходе измерительных портов.

Допускается использовать другие методы измерений, обеспечивающие определение указанных метрологических характеристик поверяемых анализаторов с требуемой точностью.

Пределы максимальной погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения рассчитываются с учетом погрешности описания используемых средств поверки. Пропуск учета погрешности описания в соответствующих пунктах, приведенных ниже, может являться причиной несоответствия результатов измерений.

Метод 1

Для приборов с четырьмя измерительными портами проверка выполняется вначале для портов 1 и 2, далее для портов 3 и 4.

7.9.1 Выбрать пункт «Определение погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения, нескорректированных параметров и уровня собственного шума приемников».

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

7.9.3 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 Ed , согласования источника Es , согласования нагрузки El , трекинга отражения Er и трекинга передачи Et) из линейного масштаба в логарифмический следует использовать формулы:

$$20 \cdot \lg(Ed) \qquad -20 \cdot \lg(1 - Er)$$

$$20 \cdot \lg(Es) \qquad -20 \cdot \lg(1 - Et)$$

$$20 \cdot \lg(El)$$

В таблицу результаты расчета записывать без знака «минус».

7.9.4 Подключить нагрузки согласованные к измерительным портам анализатора.

7.9.5 Нажать программную кнопку «Измерение».

7.9.6 Проверить, что измеренные значения уровней собственного шума в заданных частотных диапазонах соответствуют 7.7.5. Отключить нагрузки согласованные.

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

7.9.8 Выполнить полную двухпортовую «калибровку» с неизвестной перемычкой, используя набор калибровочных мер, в соответствии с руководством по эксплуатации на анализатор. Калибровка осуществляется путем последовательного подключения мер к измерительным портам. В качестве неизвестной перемычки следует использовать кабель СВЧ.

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

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

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

7.9.12 Результаты проверки считать положительными, если программное обеспечение отображает положительное заключение о соответствии:

- уровни собственного шума не превышают значений, указанных в 7.7.5;
- нескорректированные параметры не выходят за допускаемые пределы, приведенные в 7.8.7;
- эффективные параметры не выходят за допускаемые пределы, приведенные в программном обеспечении *VNA Performance Test* с учётом погрешности описания эталонного набора мер.

Метод 2

Проверка абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения

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

Для приборов с четырьмя измерительными портами проверка осуществляется вначале для портов 1 и 2, далее для портов 3 и 4.

7.9.13 Выбрать пункт «Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения».

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

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

Примечание - Поскольку воздушная линия является не симметричным устройством, то будьте внимательны к ориентации при подключении и сравнении данных.

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

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

7.9.18 Выполнить полную двухпортовую «калибровку».

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

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

7.9.20 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.

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

Проверка абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи

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

Для приборов с четырьмя измерительными портами проверка осуществляется вначале для портов 1 и 2, далее для портов 3 и 4.

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

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

7.9.24 Загрузить файл описания аттенуатора 20 дБ «*.s2p», нажав программную кнопку «Загрузить описание аттенуатора 20 дБ».

7.9.25 Заполнить таблицу, указав для аттенуатора действительные значения погрешности определения модуля и фазы коэффициентов передачи (S_{21} и S_{12}) на регламентированных частотных точках. Введённые значения погрешности могут быть сохранены в

файл и загружены при дальнейшем использовании.

7.9.26 Загрузить файл описания аттенюатора 40 дБ (или 50 дБ в зависимости от используемого набора мер) «*.s2p», нажав программную кнопку «Загрузить описание аттенюатора 40 дБ» (или «Загрузить описание аттенюатора 50 дБ»). Заполнить таблицу, указав действительные значения погрешности определения модуля и фазы коэффициентов передачи (S21 и S12) на регламентируемых частотных точках.

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

7.9.28 Выполнить полную двухпортовую «калибровку».

7.9.29 После выполнения «калибровки» подключить аттенюатор 20 дБ в соответствии со схемой измерений.

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

7.9.30 В *VNA Performance Test* нажать программу кнопку «Измерение аттенюатора 20 дБ». Проверить, что погрешность измерений модуля и фазы коэффициента передачи находится в заданных пределах. При необходимости изменения ориентации описания аттенюатора следует нажать кнопку «Реверс описания».

П р и м е ч а н и е - Поскольку аттенюаторы являются не симметричными устройствами, то будьте внимательны к ориентации при подключении и сравнении данных.

7.9.31 Вместо аттенюатора 20 дБ подключить аттенюатор 40 дБ (или 50 дБ) и нажать программу кнопку «Измерение аттенюатора 40 дБ» (или «Измерение аттенюатора 50 дБ»). Проверить, что погрешность измерений модуля и фазы коэффициента передачи находится в заданных пределах. При необходимости изменения ориентации описания аттенюатора следует нажать кнопку «Реверс описания».

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

Метод 3

Для приборов с четырьмя измерительными портами проверка выполняется вначале для портов 1 и 2, далее для портов 3 и 4.

7.9.33 Выбрать пункт «Определение нескорректированных параметров, погрешности измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения».

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

7.9.35 Нажать программную кнопку «Калибровка. Порт 1» и перейти в программное обеспечение анализатора.

7.9.36 Выполнить полную однопортовую «калибровку» первого измерительного порта.

7.9.37 По завершении измерений вернуться в *VNA Performance Test* и проверить, что нескорректированные параметры первого порта находятся в заданных пределах.

П р и м е ч а н и е - К контролируемым нескорректированным параметрам после однопортовой «калибровки» относятся направленность и согласование источника.

7.9.38 Аналогичным образом выполнить полную однопортовую «калибровку» второго порта анализатора, нажав соответствующую программную кнопку. Проверить, что нескорректированные параметры второго порта находятся в заданных пределах.

7.9.39 Подключить кабель СВЧ, как указано в инструкции *VNA Performance Test*. Нажать программную кнопку «Кабель».

7.9.40 После выполнения измерений проверить, что согласование нагрузки (нескорректированный параметр) находится в заданных пределах.

7.9.41 Подключить аттенюатор, как указано в инструкции *VNA Performance Test*. Подключение аттенюатора должно выполняться с минимальным изменением положения кабеля СВЧ. Во время измерения кабель СВЧ должен быть неподвижным.

7.9.42 Загрузить файл описания аттенюатора «*.s2p», нажав программную кнопку «Описание аттенюатора». Заполнить таблицу, указав действительные значения погрешности определения модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения. Введённые значения погрешности могут быть сохранены в файл и загружены при дальнейшем использовании.

П р и м е ч а н и е - Поскольку аттенюатор является не симметричным устройством, то будьте внимательны к его ориентации.

7.9.43 Для запуска измерений параметров аттенюатора нажать одноименную программную кнопку «Аттенюатор».

Коэффициенты передачи (S_{21} и S_{12}) аттенюатора измеряются при двух уровнях выходной мощности – номинальном и смещённом на 20 дБ. Смещение мощности имитирует процесс измерения 60 дБ аттенюатора в целях проверки линейности динамической характеристики прибора и увеличения диапазона контролируемого коэффициента передачи. Коэффициент отражения (S_{11}) измеряется только при номинальном уровне мощности.

7.9.44 Проверить, что абсолютная погрешность измерений модуля и фазы коэффициентов передачи (S_{21} и S_{12}) для двух уровней, а также погрешность измерений модуля и фазы коэффициента отражения (S_{11}) находятся в заданных пределах.

7.9.45 Отсоединить кабель СВЧ и аттенюатор от анализатора.

7.9.46 Подключить к первому измерительному порту нагрузку короткозамкнутую.

7.9.47 Загрузить файл описания нагрузки короткозамкнутой «*.s1p», нажав программную кнопку «Описание нагрузки КЗ». Заполнить таблицу, указав для нагрузки действительные значения погрешности определения модуля и фазы коэффициента отражения. Введённые значения погрешности могут быть сохранены в файл и загружены при дальнейшем использовании.

7.9.48 Нажать программную кнопку «Нагрузка КЗ. Порт 1» для измерения коэффициента отражения нагрузки со стороны первого порта. Проверить, что абсолютная погрешность измерений модуля и фазы коэффициента отражения находится в заданных пределах.

7.9.49 Отсоединить нагрузку короткозамкнутую от первого порта и подключить ее ко второму.

7.9.50 Нажать программную кнопку «Нагрузка КЗ. Порт 2» для измерения коэффициента отражения нагрузки со стороны второго порта. Проверить, что абсолютная погрешность измерений модуля и фазы коэффициента отражения находится в заданных пределах. Отсоединить нагрузку короткозамкнутую от анализатора.

7.9.51 Результаты проверки считать положительными, если программное обеспечение отображает положительное заключение о соответствии:

- параметры измерительных портов соответствуют 7.8.7;
- абсолютная погрешность измерений модуля и фазы коэффициентов передачи и отражения не превышает допустимых пределов.

Метод 4

Проверка выполняется путём сравнения измеренных и действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения нагрузок с номинальными значениями КСВН 1,0; 1,1 (1,2); и 2,0.

Проверку следует проводить последовательно для каждого измерительного порта анализатора.

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

7.9.53 Установить на анализаторе параметры по умолчанию, уровень выходной мощности 0 дБм и полосу пропускания фильтра промежуточной частоты 1 кГц.

Предпочтительный ряд частот: от 100 кГц до 1 МГц с шагом 100 кГц (10 точек), от 1 МГц до 20 МГц с шагом 1 МГц (20 точек), от 20 МГц до верхней границы с шагом 20 МГц.

Если применяемые нагрузки имеют табличное описание (файл с расширением s1p), то рекомендуется установить количество точек таким, чтобы частоты измерений и описаний совпадали, для исключения погрешности интерполяции между точками. Для этого рекомендуется использовать сегментное сканирование анализатора.

7.9.54 Выбрать соответствующую трассу S11 (S22, S33, S44), формат отображения «Ампл лин».

7.9.55 Выполнить полную однопортовую «калибровку» измерительного порта, используя ранее указанный набор мер.

7.9.56 Подключить нагрузку с номинальным значением КСВН 1,0 к порту.

7.9.57 Загрузить, при наличии, файл (*.s1p) описания нагрузки. Произвести автоматический масштаб измеряемых данных и данных трассы памяти.

7.9.58 Определить с помощью маркеров максимальную разницу $\Delta |S_{ii}^{i3M1}|$ (i – номер порта) между измеряемыми данными и данными трассы памяти в диапазонах частот от 100 кГц до 10 ГГц и свыше 10 до верхней границы (для приборов, имеющих верхнюю границу диапазона рабочих частот более 10 ГГц, см. таблицу 8). Зафиксировать результаты измерений (разность модулей коэффициентов отражения в линейном масштабе для одного или двух частотных диапазонов в зависимости от поверяемого анализатора).

Пересчёт из КСВН в модуль коэффициента отражения для мер (нагрузок), имеющих табличное описание, полученное по результатам сличения, поверки или аттестации выполнить по формуле:

$$|S_{11}| = \frac{K_{cmU}-1}{K_{cmU}+1}, \quad (1)$$

где K_{cmU} – действительные значения КСВН мер в регламентируемых частотных точках.

7.9.59 Отсоединить нагрузку, повернуть на угол, приблизительно равный 120 градусам, и снова подключить. Аналогичным образом определить с помощью маркеров максимальную разницу $\Delta|S_{ii}^{ИЗМ2}|$. Зафиксировать результаты измерений.

7.9.60 Отсоединить нагрузку, повернуть на угол, приблизительно равный 120 градусам, и снова подключить. Определить с помощью маркеров максимальную разницу $\Delta|S_{ii}^{ИЗМ3}|$. Зафиксировать результаты измерений.

7.9.61 Рассчитать среднее значение отклонения $\Delta|S_{ii}^{ИЗМ}|$ для указанных диапазонов частот по формуле:

$$\Delta|S_{ii}^{ИЗМ}| = (\Delta|S_{ii}^{ИЗМ1}| + \Delta|S_{ii}^{ИЗМ2}| + \Delta|S_{ii}^{ИЗМ3}|)/3 \quad (2)$$

7.9.62 Отсоединить нагрузку с номинальным значением КСВН 1,0.

7.9.63 Повторить измерения, подключая нагрузки с номинальными значениями КСВН 1,1 (1,2) и 2,0. Кроме вычисления $\Delta|S_{ii}^{ИЗМ}|$, для каждой нагрузки требуется дополнительно определять максимальные отклонения фазы в градусах, для чего во время измерений необходимо выбирать формат отображения «Фаза». Для упрощения поиска максимальных отклонений рекомендуется применять математическую операцию деления измеряемых данных на данные трассы памяти. При необходимости, использовать функцию автоматического масштабирования результата измерений.

7.9.64 Для каждой нагрузки рассчитать среднее значение отклонения $\Delta\varphi(S_{ii}^{ИЗМ})$, градусы, для ранее указанных диапазонов частот по формуле:

$$\Delta\varphi(S_{ii}^{ИЗМ}) = (\Delta\varphi(S_{ii}^{ИЗМ1}) + \Delta\varphi(S_{ii}^{ИЗМ2}) + \Delta\varphi(S_{ii}^{ИЗМ3}))/3 \quad (3)$$

7.9.65 По окончании убрать все используемые маркеры, отключить математическую функцию деления, если она была задействована.

7.9.66 Вычислить пределы суммарной погрешности измерений модуля коэффициента отражения $\Delta|S_{11}^{\Sigma}|$ в линейном масштабе (разы) и фазы коэффициента отражения $\Delta\varphi(S_{11}^{\Sigma})$ в градусах:

$$\Delta|S_{11}^{\Sigma}| = \sqrt{[\Delta|S_{11}^A|]^2 + [\Delta|S_{11}^0|]^2}, \quad (4)$$

$$\Delta\varphi(S_{11}^{\Sigma}) = \sqrt{[\Delta\varphi(S_{11}^A)]^2 + [\Delta\varphi(S_{11}^0)]^2}, \quad (5)$$

где $\Delta|S_{11}^A|$ – предел допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения поверяемого анализатора;

$\Delta|S_{11}^0|$ – предел абсолютной погрешности описания действительных значений модуля коэффициента отражения используемой нагрузки;

$\Delta\varphi(S_{11}^A)$ – предел допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения поверяемого анализатора, градус;

$\Delta\varphi(S_{11}^0)$ – предел абсолютной погрешности описания действительных значений фазы коэффициента отражения используемой нагрузки, градус.

Пределы погрешности $\Delta|S_{11}^A|$ и $\Delta\varphi(S_{11}^A)$ рассчитываются по следующим формулам:

$$\Delta|S_{11}^A| = Ed + (Er - 1) \cdot |S_{11}^0| + Es \cdot |S_{11}^0|^2, \quad (6)$$

$$\Delta\varphi(S_{11}^A) = 1,0 + \left(\frac{180}{\pi}\right) \cdot \arcsin\left(\frac{\Delta|S_{11}^A|}{|S_{11}^0|}\right), \quad (7)$$

где Ed – эффективная направленность;

Es – эффективное согласование источника;

Er – эффективный трекинг отражения;

$|S_{11}^0|$ – действительное значение модуля коэффициента отражения используемой нагрузки.

Т а б л и ц а 1 2 – Значения эффективных параметров в диапазоне частот

Диапазон частот	Ed	Es	$(Er-1)$
C1205			
от 100 кГц до верхней границы	0,005	0,010	0,006
C1207, C1209, C1409, C2209, C2409, C4209, C4409			
от 100 кГц до верхней границы	0,005	0,010	0,006
C1214, C1220, C1420, C4220, C4420			
от 100 кГц до 10 ГГц	0,005	0,010	0,006
св. 10 ГГц до верхней границы	0,008	0,013	0,012

Диапазон частот	E_d	E_s	(E_r-1)
С2220, С2420			
от 100 кГц до 10 ГГц	0,005	0,010	0,006
св. 10 ГГц до верхней границы	0,008	0,013	0,012

7.9.67 Результаты проверки считать положительными, если вычисленные средние значения отклонений $\Delta|S_{ii}^{\text{ИЗМ}}|$ и $\Delta\varphi(S_{ii}^{\text{ИЗМ}})$ не превышают соответствующие пределы суммарной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения, определённые по формулам 4 и 5.

8 Оформление результатов поверки

8.1 При положительных результатах поверки выдается свидетельство о поверке в соответствии с приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации №1815 от 02.07.2015. Знак поверки наносится на свидетельство о поверке.

8.2 При отрицательных результатах поверки оформляют извещение о непригодности установленного образца. Результаты предыдущей поверки аннулируются (аннулируется свидетельство о поверке).

Зам. начальника лаборатории № 441
ФБУ «Ростест-Москва»



С.В. Подколзин

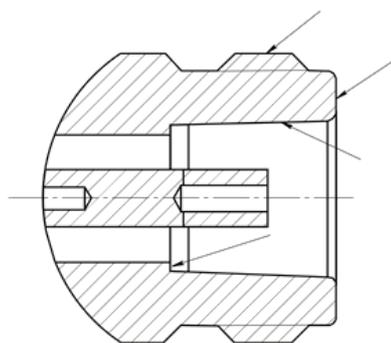
Приложение А
(справочное)
Схемы измерений

Внешний осмотр

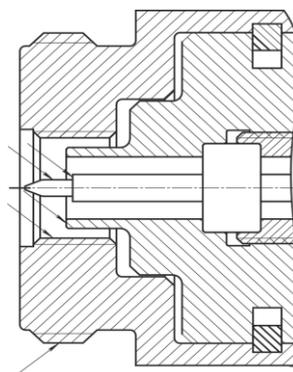
Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Средства поверки не требуются	

Описание проверки	Заключение о соответствии
Комплектность соответствует приведённой в эксплуатационной документации	
Отсутствуют механические повреждения соединителей	
Отсутствуют глубокие царапины и вмятины на корпусе анализатора	
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	
Перемычки (при наличии), кабели питания и USB не имеют повреждений	

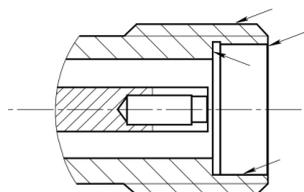
Внешний осмотр
(продолжение)



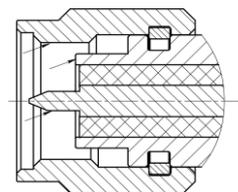
N, розетка



NMD 3,5 мм, вилка



3,5 мм, розетка



SMA, вилка

Рисунок А.1 – Чистка соединителей

Стрелками указаны поверхности, которые необходимо протирать при чистке соединителей.

Тип соединителей измерительных портов приведен в таблице 6.

Тип соединителей для подключения перемычек, расположенных на передней панели анализаторов: 3,5 мм, розетка.

Тип соединителей перемычек SMA, вилка.

Внешний осмотр

(продолжение)

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.

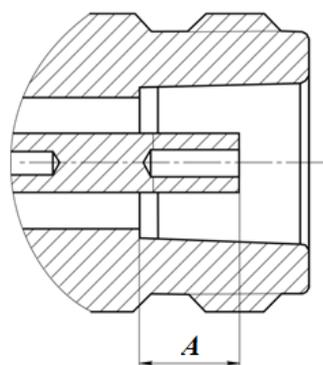
ЗАПРЕЩАЕТСЯ ПРИМЕНЯТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПРЕДМЕТЫ ДЛЯ ЧИСТКИ СОЕДИНИТЕЛЕЙ.

Проверка присоединительных размеров

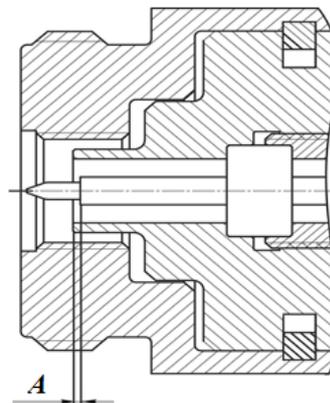
Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Комплект для измерений соединителей коаксиальных КИСК – 7	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений присоединительных размеров $\pm 0,01$ мм
Комплект для измерений соединителей коаксиальных КИСК – 3,5	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений присоединительных размеров $\pm 0,01$ мм

Тип соединителя	Нижний предел [мм]	Измеренное значение [мм]	Верхний предел [мм]
PORT 1 (2, 3, 4) 50Ω тип N, розетка	5,18		5,26
PORT 1 (2, 3, 4) 50Ω NMD 3,5 мм, вилка	-0,08		0,00
3,5 мм, розетка	-0,20		0,00
SMA, вилка	-0,20		0,00

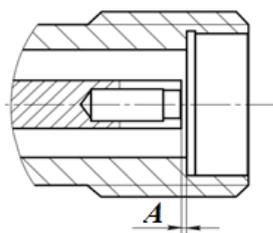
Проверка присоединительных размеров
(продолжение)



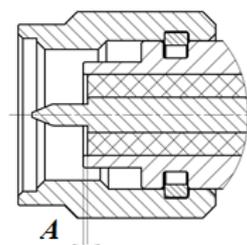
N, розетка



NMD 3,5 мм, вилка



3,5 мм, розетка



SMA, вилка

Рисунок А.2 – Присоединительный размер А

Тип соединителей измерительных портов приведен в таблице 6.

Тип соединителей для подключения перемычек, расположенных на передней панели анализаторов: 3,5 мм, розетка.

Тип соединителей перемычек SMA, вилка.

Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Частотомер электронно-счётный 53150А	Диапазон частот от 10 Гц до 20 ГГц Пределы относительной погрешности по частоте кварцевого генератора 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			
3 (для четырехпортовых приборов)	F_1			$\pm 2,0$
	...			
	F_N			

Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала (*продолжение*)

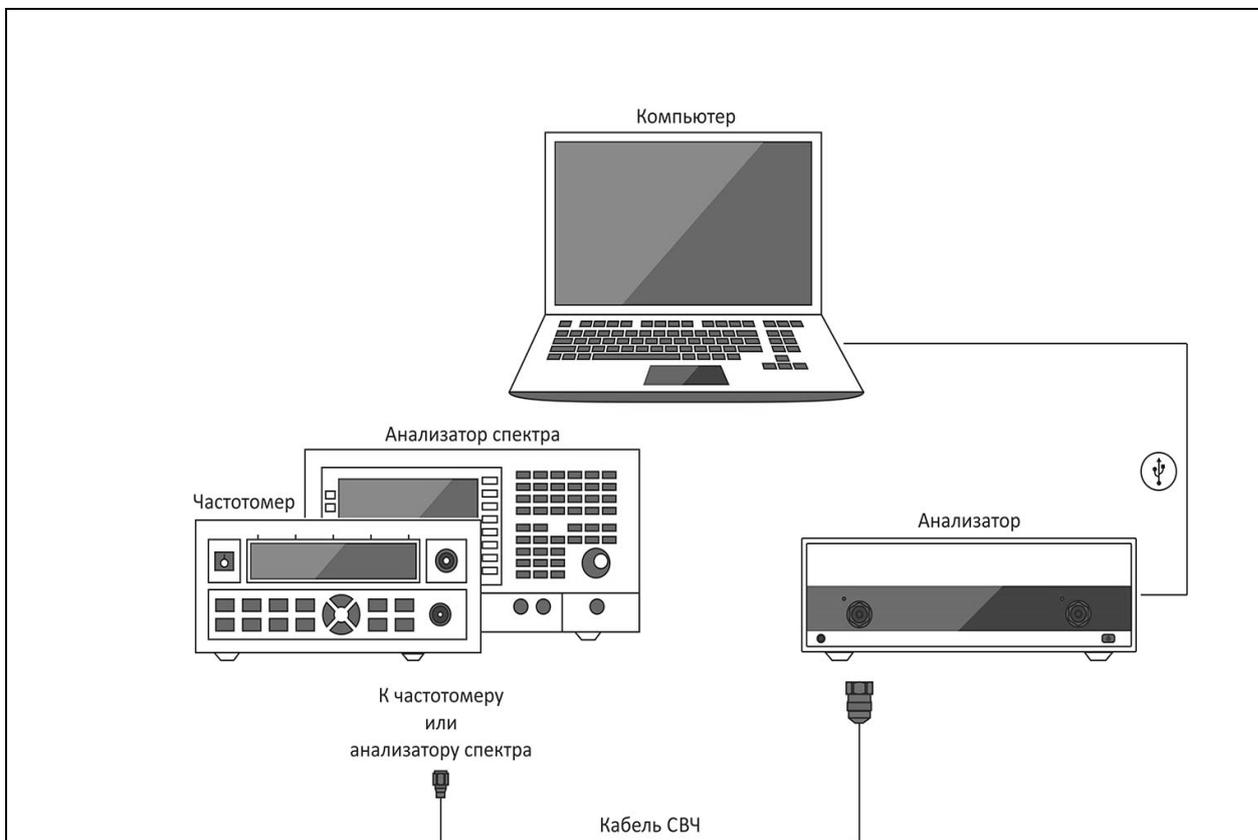


Рисунок А.3 – Схема измерений

Измерения проводят для трех-пяти произвольно выбранных частот в начале, середине и конце диапазона рабочих частот анализатора (см. таблицу 8).

Расчет 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 анализатора с требуемой точностью.

Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала (*продолжение*)

Проведение измерений:

Установить на анализаторе 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».

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

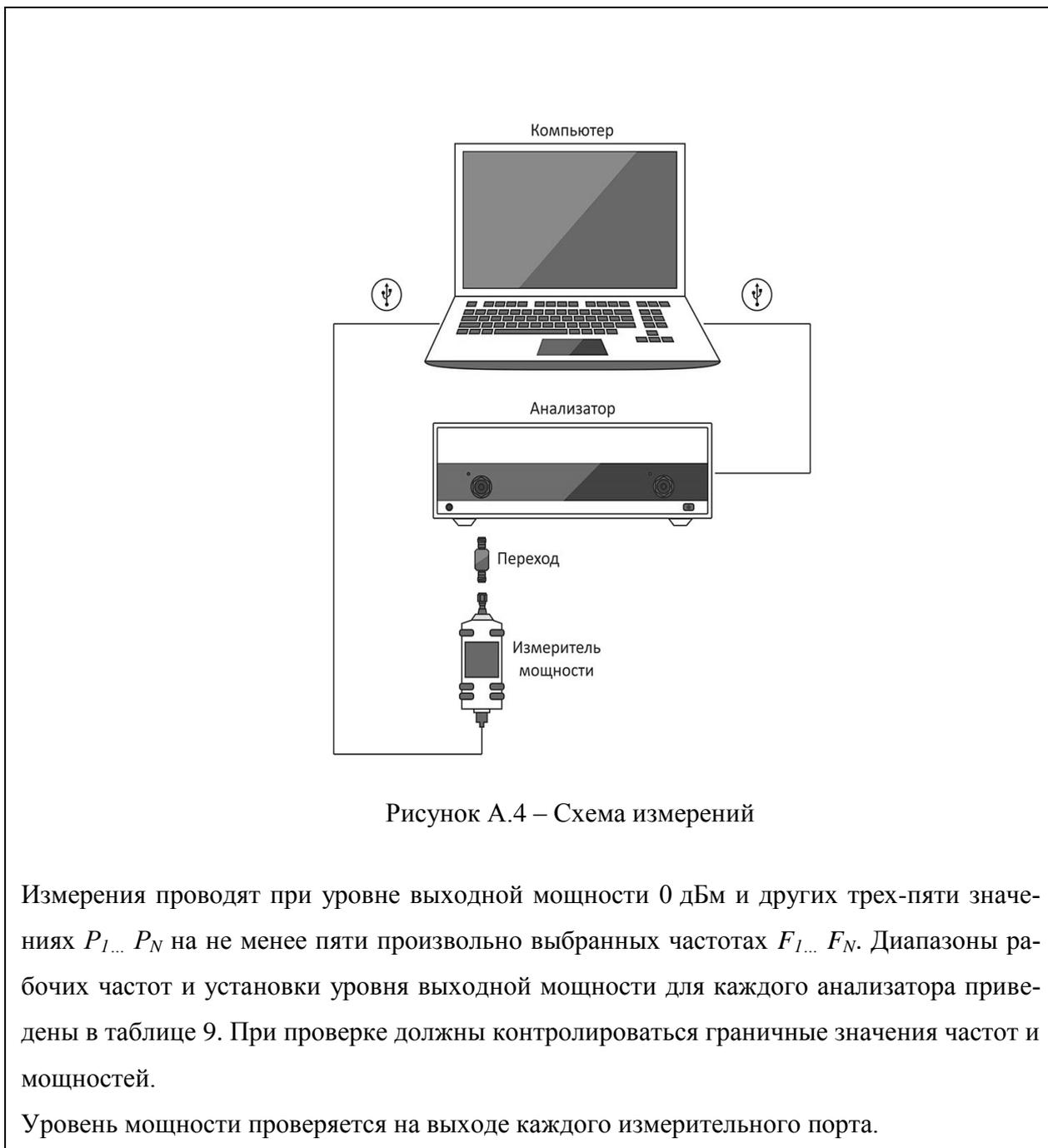
где F – требуемое значение частоты, МГц.

Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Преобразователь измерительный NRP-Z51	Диапазон измерений мощности от -30 до 20 дБм Пределы допускаемой относительной погрешности измерений мощности $\pm 6\%$
Преобразователь измерительный NRP-Z55	Диапазон измерений мощности от -30 до 20 дБм 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	0				$\pm 1,5$	
	P_1					
	...					
	P_N					
2 (3, 4)	0				$\pm 1,5$	
	P_1					
	...					
	P_N					

Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности
(продолжение)



Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности
(продолжение)

Проведение измерений:

Установить на анализаторе параметры по умолчанию, уровень выходной мощности 0 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 0 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 анализатора, работающих в режиме абсолютных измерений, после нормализации данных (деления данных на память). За результат принимается сумма показаний опорных приемников на каждой контролируемой частоте и измеренных значений 0 дБм с помощью ваттметра.

Настойки анализатора	
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 0 дБм	Стимул, Мощность, Мощность 0 дБм
выбор измеряемого параметра	Измерение (S11, S22, S33, S44)
однократный запуск	Стимул, Запуск, Однократно

Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности
(продолжение)

Настойки анализатора	
Команда	Установка
Измерение с помощью опорных приемников	
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
уровень выходной мощности 0 дБм	Стимул, Мощность, Мощность 0 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 3	Измерение, Опорный приемник, R3 (3)
режим абсолютных измерений для порта 4	Измерение, 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 (холостого хода) из состава набора калибровочных мер 05СК010-150	Тип соединителя N, вилка
Нагрузка короткозамкнутая (холостого хода) из состава набора калибровочных мер 03СК010-150	Тип соединителя 3,5 мм, розетка
Кабель измерительный TESTPRO3	Амплитудно- и фазостабильный кабель СВЧ

Частота	Среднеквадратические отклонение трассы [дБ]		Максимальное измеренное значение [дБ]	Верхний предел [дБ]
	S_{11} (S_{33})			
Диапазон ΔF	S_{22} (S_{44})			согласно 7.6.8
	S_{21} (S_{43})			
	S_{12} (S_{34})			
<p>Диапазоны частот ΔF и соответствующие предельные значения среднеквадратического отклонения указаны в пункте 7.6.8.</p> <p>В скобках указаны параметры, дополнительно относящиеся к приборам с четырьмя измерительными портами.</p>				

Определение среднего квадратического отклонения трассы
(продолжение)

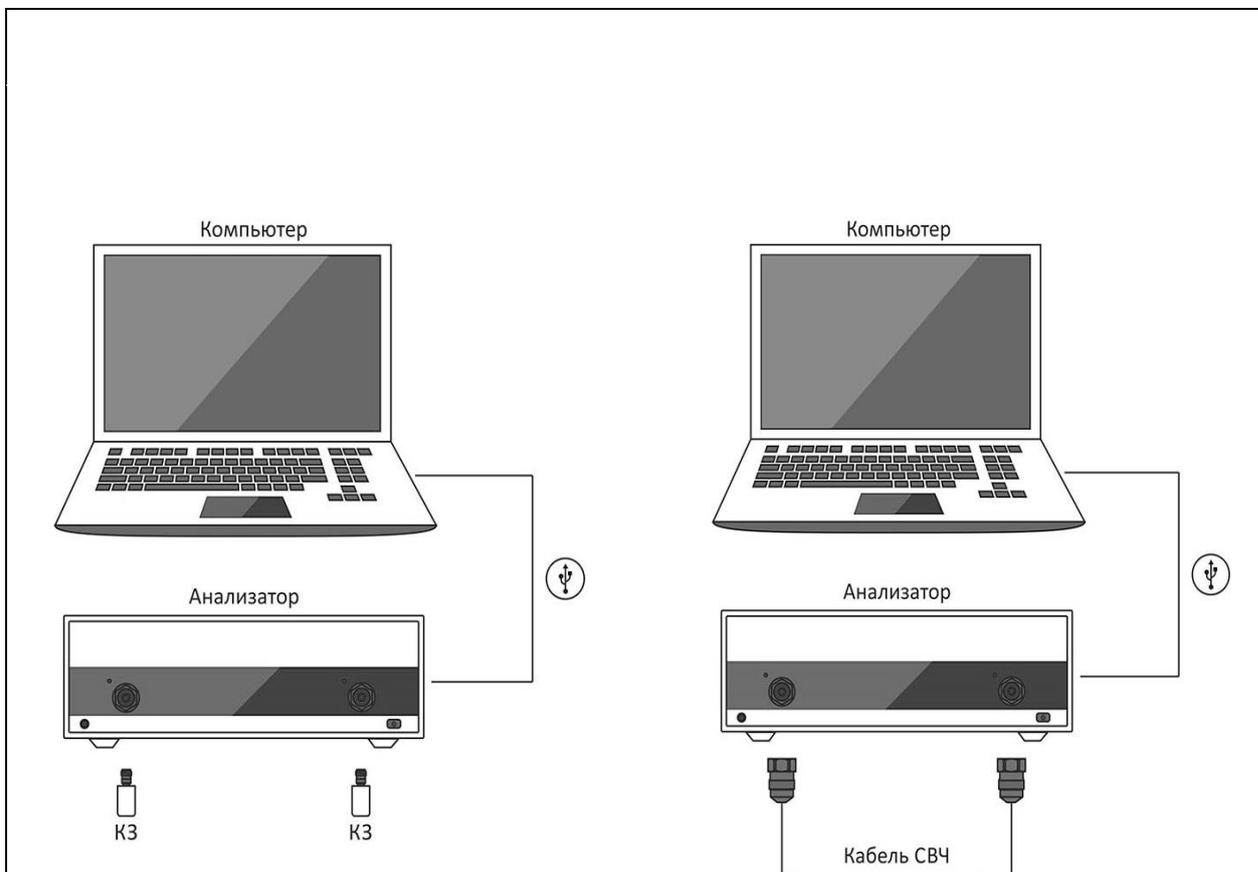


Рисунок А.5 – Схема измерений

Измерения проводят при уровне выходной мощности 0 дБм и полосе фильтра промежуточной частоты 3 кГц последовательно в каждом диапазоне частот, указанном в 7.6.8.

Определение среднего квадратического отклонения трассы

(продолжение)

Проведение измерений:

Установить на анализаторе параметры по умолчанию, уровень выходной мощности 0 дБм, полосу фильтра промежуточной частоты 3 кГц, диапазон частот в соответствии с 7.6.8, 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 анализатора.

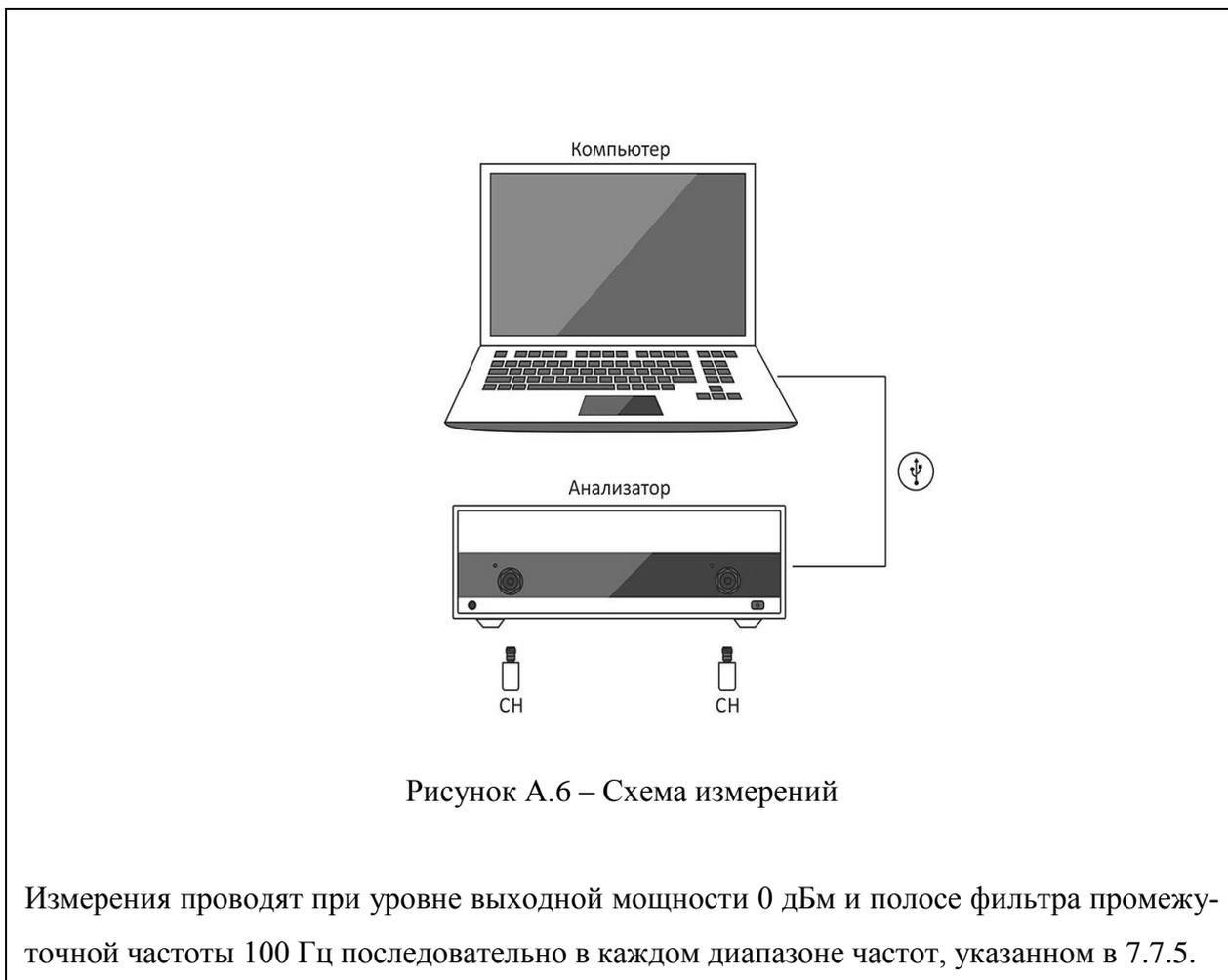
Настойки анализатора	
Команда	Установка
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
выбор измеряемого параметра	Измерение (S-параметры)
Конфигурация сегментного сканирования	
строка 1 таблицы сегментов: старт и стоп количество точек полоса ПЧ	Стимул, Таблица сегментов Диапазон частот ΔF (см. 7.6.8) Не менее 500 3 кГц
включение режима сегментного сканирования	Стимул, Тип сканирования, Сегментный
уровень выходной мощности 0 дБм	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 приемников

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Нагрузки согласованные 5S150-C10S3	Тип соединителя N, вилка КСВН не более 1,1
Нагрузки согласованные 03K150-C10S3	Тип соединителя 3,5 мм, розетка КСВН не более 1,1
Количество нагрузок, требуемых для поверки, соответствует количеству измерительных портов анализатора	

Частота	Уровень шума [дБм]		Максимальное измеренное значение [дБм]	Верхний предел [дБм]
Диапазон ΔF	S21			согласно 7.7.5
	(S31)			
	(S41)			
	S12			
	(S32)			
	(S42)			
	(S13)			
	(S23)			
	(S43)			
	(S14)			
	(S24)			
	(S34)			
<p>Диапазоны частот ΔF и соответствующие предельные значения уровня собственного шума приемников указаны в пункте 7.7.5.</p> <p>В скобках указаны параметры, относящиеся к четырехпортовым приборам.</p>				

Определение уровня собственного шума приемников
(продолжение)



Определение уровня собственного шума приемников

(продолжение)

Проведение измерений:

Установить на анализаторе параметры по умолчанию, уровень выходной мощности 0 дБм, полосу фильтра промежуточной частоты 100 Гц, диапазон частот в соответствии с 7.7.5, 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 анализатора. По окончании измерений необходимо перевести результат в логарифмический масштаб по формуле $20 \cdot \lg(S_{ji})$.

Для пересчета 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.

Настойки анализатора	
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. 7.7.5) Не менее 500 100 Гц
включение режима сегментного сканирования	Стимул, Тип сканирования, Сегментный
уровень выходной мощности 0 дБм	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 05СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 3)
Набор калибровочных мер 03СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 4)
Кабель измерительный TESTPRO3	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.

Определение нескорректированных параметров
(продолжение)



Определение нескорректированных параметров

(продолжение)

Проведение измерений:

Установить на анализаторе параметры по умолчанию, отключить системную коррекцию, уровень выходной мощности 0 дБм, полосу фильтра промежуточной частоты не более 1 кГц, диапазон рабочих частот в соответствии с таблицей 8.

Предпочтительный ряд частот: от 100 кГц до 1 МГц с шагом 100 кГц (10 точек), от 1 МГц до 20 МГц с шагом 1 МГц (20 точек), от 20 МГц до верхней границы с шагом 20 МГц.

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

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

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

Каждый калибровочный коэффициент записывается в файл **.sta* в виде реальной и мнимой части комплексного числа на всех точках измерений. Всего в файле после полной двухпортовой калибровки будут находиться 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(EI12)}	{Im(EI12)}
{Частоты, Гц}	{Re(Et21)}	{Im(Et21)}	{Re(Ex21)}	{Im(Ex21)}	{Re(EI21)}	{Im(EI21)}
{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 ниже приведенные 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.

Настойки анализатора	
Команда	Установка
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
уровень выходной мощности 0 дБм	Стимул, Мощность, Мощность 0 дБм
полоса ПЧ	Стимул, Полоса ПЧ не более 1 кГц
количество точек	Стимул, Число точек [число точек]
SOLR калибровка	
выбор набора мер	Калибровка, Комплект мер [название набора]
выполнение калибровки	Калибровка, Калибровать, Полн. 2-порт.
Сохранение данных в файл	
сохранение данных	Сохр/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 анализатора в ходе проверки, которые не следует менять самостоятельно.

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Набор калибровочных мер 05СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 3)
Набор мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z270	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 3)
Набор калибровочных мер 03СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 4)
Набор мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z235	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 4)
Кабель измерительный TESTPRO3	Амплитудно- и фазостабильный кабель СВЧ

Измерения проводят в диапазоне рабочих частот прибора при уровне выходной мощности 0 дБм.

Полоса фильтра промежуточной частоты не более 1 кГц.

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

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Набор калибровочных мер 05СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 3)
Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85055А	<p>Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом от $\pm 0,008$ до $\pm 0,016$ (линейный масштаб)</p> <p>Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом от $\pm 1,5$ до $\pm 10,0$ градусов</p>
Набор калибровочных мер 03СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 4)
Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85053В	<p>Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом от $\pm 0,008$ до $\pm 0,016$ (линейный масштаб)</p> <p>Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента отражения отрезка коаксиального волновода 25 Ом от $\pm 1,5$ до $\pm 10,0$ градусов</p>
Кабель измерительный TESTPRO3	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 учетом погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения используемой воздушной линии.

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



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



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

Проведение измерений:

Установить на анализаторе параметры по умолчанию, уровень выходной мощности 0 дБм, полосу фильтра промежуточной частоты не более 1 кГц, диапазон рабочих частот в соответствии с таблицей 8.

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

После выполнения полной двухпортовой «калибровки», подключить воздушную линию к измерительным портам анализатора. 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 анализатора. 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 поверяемого анализатора;

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

$\Delta\varphi(S_{ii}^A)$ – предел допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения поверяемого анализатора, 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 расчета 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.

Значения эффективных параметров в диапазонах частот $\Delta F_1 \dots \Delta F_N$:

Диапазон частот	E_d	E_s	E_l	(E_r-1)
C1205				
от 100 кГц до верхней границы	0,005	0,010	0,005	0,006
C1207, C1209, C1409, C2209, C2409, C4209, C4409				
от 100 кГц до верхней границы	0,005	0,010	0,005	0,006
C1214, C1220, C1420, C4220, C4420				
от 100 кГц до 10 ГГц	0,005	0,010	0,005	0,006
св. 10 ГГц до верхней границы	0,008	0,013	0,008	0,012
C2220, C2420				
от 100 кГц до 10 ГГц	0,005	0,010	0,005	0,006
св. 10 ГГц до верхней границы	0,008	0,013	0,008	0,012

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

Настойки анализатора	
Команда	Установка
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
уровень выходной мощности 0 дБм	Стимул, Мощность, Мощность 0 дБм
полоса ПЧ	Стимул, Полоса ПЧ не более 1 кГц
количество точек	Стимул, Число точек [<i>число точек</i>]
Конфигурация сегментного сканирования (при необходимости)	
строка таблицы сегментов: старт и стоп количество точек полоса ПЧ	Стимул, Таблица сегментов [<i>диапазон частот</i>] [<i>количество точек</i>] не более 1 кГц
включение режима сегментного сканирования	Стимул, Тип сканирования, Сегментный
Калибровка	
выбор набора мер	Калибровка, Комплект мер [<i>название набора</i>]
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 05СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 3)
Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85055А	Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента передачи аттенюаторов $\pm 0,1$ дБ Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента передачи аттенюаторов ± 1 градус
Набор калибровочных мер 03СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 4)
Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85053В	Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента передачи аттенюаторов $\pm 0,1$ дБ Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента передачи аттенюаторов ± 1 градус
Кабель измерительный TESTPRO3	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 учетом погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента передачи используемых аттенюаторов.

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



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



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

Проведение измерений:

Установить на анализаторе параметры по умолчанию, уровень выходной мощности 0 дБм, диапазон рабочих частот в соответствии с таблицей 8, полосу фильтра промежуточной частоты не более 100 Гц (в диапазоне частот до 1 МГц – 1 Гц).

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

После выполнения полной двухпортовой «калибровки», подключить аттенуатор к измерительным портам анализатора. 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 анализатора. Определить абсолютные погрешности.

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

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

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

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

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

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

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

– 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 поверяемого анализатора, 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 поверяемого анализатора, 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:

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

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

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 расчета 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.

Значения эффективных параметров в диапазонах частот $\Delta F_1 \dots \Delta F_N$:

Диапазон частот	E_s	E_l	(E_t-1)	E_x
C1205				
от 100 кГц до 1 МГц	0,010	0,005	0,012	$3,2 \cdot 10^{-5}$
св. 1 МГц до верхней границы	0,010	0,005	0,006	$2,2 \cdot 10^{-7}$
C1207, C1209, C1409, C2209, C2409, C4209, C4409				
от 100 кГц до 1 МГц	0,010	0,005	0,012	$3,2 \cdot 10^{-5}$
св. 1 МГц до 8 ГГц	0,010	0,005	0,006	$2,2 \cdot 10^{-7}$
св. 8 ГГц до 9 ГГц	0,010	0,005	0,006	$0,7 \cdot 10^{-6}$
C1214, C1220, C1420, C4220, C4420				
от 100 кГц до 1 МГц	0,010	0,005	0,023	$1,0 \cdot 10^{-5}$
св. 1 МГц до 10 ГГц	0,010	0,005	0,006	$0,7 \cdot 10^{-6}$
св. 10 ГГц до верхней границы	0,013	0,008	0,006	$0,7 \cdot 10^{-6}$
C2220, C2420				
от 100 кГц до 1 МГц	0,010	0,005	0,023	$1,0 \cdot 10^{-5}$
св. 1 МГц до 10 ГГц	0,010	0,005	0,006	$1,0 \cdot 10^{-6}$
св. 10 ГГц до верхней границы	0,013	0,008	0,006	$1,0 \cdot 10^{-6}$

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

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

Диапазон измерений модуля коэффициента передачи в диапазоне частот:

- для анализатора С1205:

от минус 90 до 10 дБ от 100 кГц до 1 МГц;

от минус 133 до 10 дБ свыше 1 МГц до верхней границы.

- для анализаторов С1207, С1209, С1409, С2209, С2409, С4209, С4409:

от минус 90 до 15 дБ от 100 кГц до 1 МГц;

от минус 133 до 15 дБ свыше 1 МГц до 8 ГГц;

от минус 123 до 15 дБ свыше 8 ГГц до верхней границы.

- для анализаторов С1214, С1220, С1420, С4220, С4420:

от минус 100 до 0 дБ от 100 кГц до 1 МГц;

от минус 123 до 10 дБ свыше 1 МГц до верхней границы.

- для анализаторов С2220, С2420:

от минус 100 до 0 дБ от 100 кГц до 1 МГц;

от минус 120 до 10 дБ свыше 1 МГц до верхней границы.

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

Настойки анализатора	
Команда	Установка
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
уровень выходной мощности 0 дБм	Стимул, Мощность, Мощность 0 дБм
полоса ПЧ	Стимул, Полоса ПЧ не более 100 Гц
количество точек	Стимул, Число точек [<i>число точек</i>]
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 [<i>название набора</i>]
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 коэффициентов передачи и отражения (метод 3)

Проверка осуществляется только в автоматическом режиме.

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

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Набор калибровочных мер 05СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 3)
Аттенюатор 40 дБ 05AS122-K40S3 (03AS122-K40S3)	Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента передачи $\pm 0,1$ дБ Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента передачи ± 1 градус
Нагрузка короткозамкнутая 05S12S-000S3 (03K12S-000S3)	Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений модуля коэффициента отражения $\pm 0,010$ Пределы абсолютной погрешности определения действительных значений фазы коэффициента отражения $\pm 0,8$ градусов
Набор калибровочных мер 03СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 4)
Кабель измерительный TESTPRO3	Амплитудно- и фазостабильный кабель СВЧ

Измерения проводят в диапазоне рабочих частот прибора при уровне выходной мощности 0 дБм.

Полоса фильтра промежуточной частоты не более 1 кГц.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 4)

Проверка осуществляется только в ручном режиме.

Последовательность действий представлена в пункте 7.9.

Перечень основных средств поверки	
Наименование	Технические и метрологические характеристики
Набор калибровочных мер 05СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 3)
Набор нагрузок	Номинальные значения K_{cmU} (КСВН) 1,0; 1,1 (1,2); и 2,0 Тип соединителя N, вилка Пределы относительной погрешности определения КСВН не более: $1,0 \cdot K_{cmU} \%$ в диапазоне частот до 10 ГГц $1,5 \cdot K_{cmU} \%$ в диапазоне частот свыше 10 ГГц
Набор калибровочных мер 03СК010-150	Меры из состава набора должны иметь табличное описание частотных характеристик (см. таблицу 4)
Набор нагрузок	Номинальные значения K_{cmU} (КСВН) 1,0; 1,1 (1,2); и 2,0 Тип соединителя 3,5 мм, розетка Пределы относительной погрешности определения КСВН не более: $1,0 \cdot K_{cmU} \%$ в диапазоне частот до 10 ГГц $1,5 \cdot K_{cmU} \%$ в диапазоне частот свыше 10 ГГц

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 4, *продолжение*)

Погрешность измерений модуля коэффициента отражения	Нижний предел (лин)	Измеренное значение (лин)	Верхний предел (лин)
КСВН 1,0			
диапазон частот ΔF_I			
...			
диапазон частот ΔF_N			
КСВН 1,1 (1,2)			
диапазон частот ΔF_I			
...			
диапазон частот ΔF_N			
КСВН 2,0			
диапазон частот ΔF_I			
...			
диапазон частот ΔF_N			

Погрешность измерений фазы коэффициента отражения	Нижний предел [градус]	Измеренное значение [градус]	Верхний предел [градус]
КСВН 1,1 (1,2)			
диапазон частот ΔF_I			
...			
диапазон частот ΔF_N			
КСВН 2,0			
диапазон частот ΔF_I			
...			
диапазон частот ΔF_N			

Диапазоны частот ΔF указаны в таблице 12.

Пределы рассчитываются с учетом погрешности определения действительных значений модуля и фазы коэффициента отражения используемых нагрузок.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 4, *продолжение*)

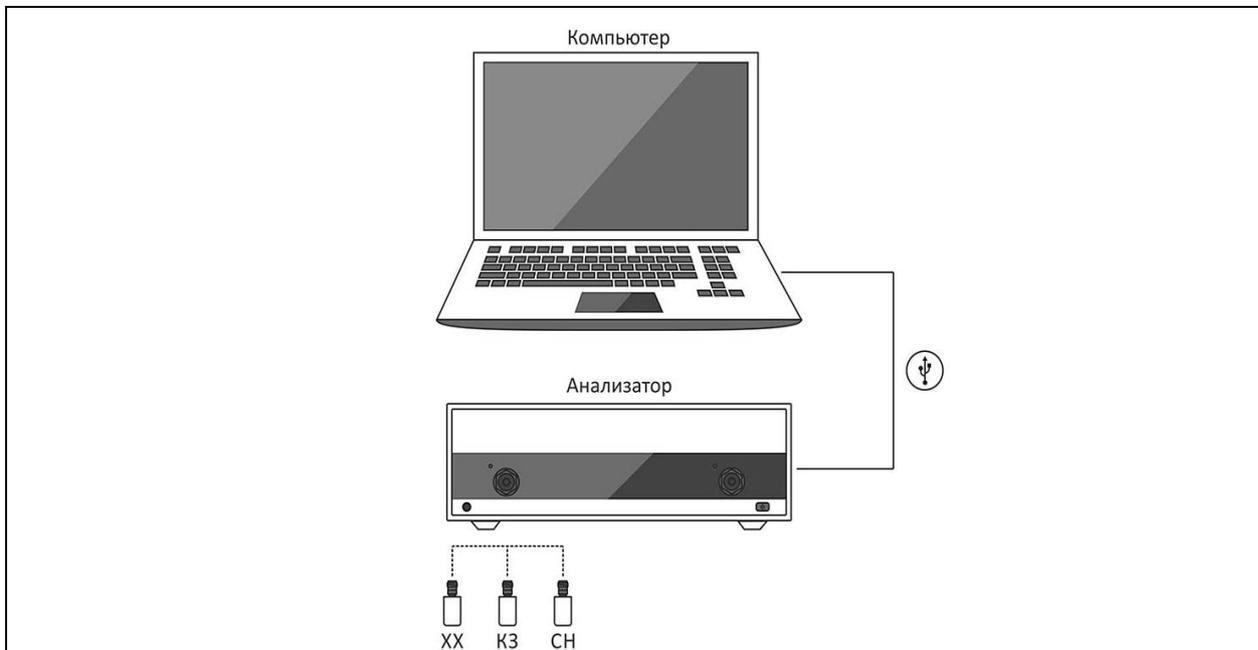


Рисунок А.12 – Проведение полной однопортовой «калибровки»

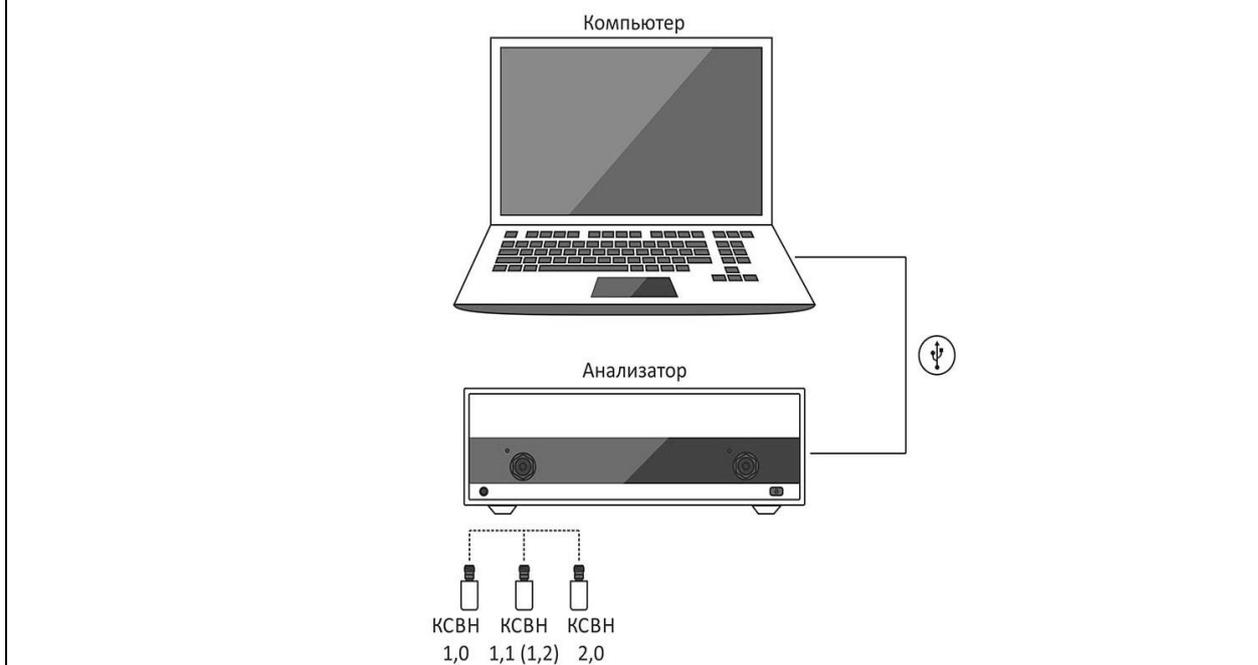


Рисунок А.13 – Схема измерений

Измерения проводят при уровне выходной мощности 0 дБм.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (метод 4, *продолжение*)

Настойки анализатора	
Команда	Установка
начальная установка	Система, Начальная установка, Подтвердить
уровень выходной мощности 0 дБм	Стимул, Мощность, Мощность 0 дБм
полоса ПЧ	Стимул, Полоса ПЧ 1 кГц
количество точек	Стимул, Число точек [<i>число точек</i>]
Конфигурация сегментного сканирования (при необходимости)	
строка таблицы сегментов: старт и стоп количество точек полоса ПЧ	Стимул, Таблица сегментов [<i>диапазон частот</i>] [<i>количество точек</i>] 1 кГц
включение режима сегментного сканирования	Стимул, Тип сканирования, Сегментный
Калибровка	
выбор набора мер	Калибровка, Комплект мер [<i>название набора</i>]
выполнение калибровки	Калибровка, Калибровать, Полн. 1-порт.
Выбор измеряемого параметра	
выбор измеряемого параметра	Измерение (S-параметры)
формат отображения	Формат
Использование маркеров	
добавление маркера	Маркеры, Добавить маркер, F МГц