



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

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

СОГЛАСОВАНО

Заместитель генерального директора
ФБУ «Ростест-Москва»



А.Д. Меньшиков

«17» мая 2023 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ ВЕКТОРНЫЕ XS-VNA-01

Методика поверки

РТ-МП-147-441-2023

г. Москва
2023 г.

1 Общие положения

Настоящая методика распространяется на анализаторы цепей векторные XS-VNA-01 (далее анализаторы) и устанавливает порядок и объем их первичной и периодической поверки. В процессе поверки подтверждаются требования к метрологическим характеристикам, указанным в описании типа на анализаторы цепей векторные XS-VNA-01.

При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость поверяемых анализаторов цепей векторных XS-VNA-01 к государственным первичным эталонам единиц величин:

- к ГЭТ 1-2022 «Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени» в соответствии с Приказом Росстандарта № 2360 от 26.09.2022 Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений времени и частоты;

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

- к ГЭТ 167-2021 «Государственный первичный эталон единицы мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,5 до 118,1 ГГц» в соответствии с приказом Росстандарта № 2813 от 09.11.2022 Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,50 до 118,1 ГГц;

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

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

Для обеспечения реализации методики поверки при определении метрологических характеристик по пунктам 10.1 - 10.7 применяется метод прямых измерений.

На основании письменного заявления владельца СИ допускается проводить периодическую поверку анализаторов цепей векторных XS-VNA-01 для меньшего числа измеряемых величин и для отдельных измерительных каналов:

- в ограниченном диапазоне частот до верхней граничной частоты любой из частотных опций Fxx анализатора (13,5; 26,5; 43,5 ГГц) в части операций 10.2, 10.5, 10.6, 10.7;

- с определением на выбор: только абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения (операция п. 10.6) или только абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи (операция п. 10.7);

- без определения метрологических характеристик одного или двух измерительных портов для анализаторов с 4-мя измерительными портами в части операций по пунктам 10.2, 10.5, 10.6, 10.7.

2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При проведении поверки выполняют операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер пункта методики поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
1	2	3	4
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Да	Да	8.1
Опробование (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Да	Да	8.3
Идентификация программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений			10
Определение относительной погрешности установки частоты опорного генератора	Да	Да	10.1
Определение динамического диапазона при полосе пропускания фильтра ПЧ 10 Гц	Да	Да	10.2
Определение среднего уровня собственных шумов приемников	Да	Нет	10.3
Определение амплитудного значения шумов измерительной трассы	Да	Нет	10.4
Определение диапазона установки уровня выходной мощности и абсолютной погрешности установки и измерений уровня мощности	Да	Да	10.5
Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения	Да	Да	10.6
Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи	Да	Да	10.7
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	11

3 Требования к условиям проведения поверки

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться нормальные условия, установленные в ГОСТ 8.395-80 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования»:

- температура окружающей среды, °Сот 20 до 30;
- относительная влажность воздуха, %от 30 до 80;
- атмосферное давление, кПа (мм рт.ст.)от 86 до 106 (от 645 до 795).

4 Требование к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки анализаторов цепей векторных XS-VNA-01 допускаются специалисты, имеющие необходимую квалификацию, освоившие работу с анализаторами и применяемыми средствами поверки, изучившие настоящую методику поверки.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 При проведении поверки анализаторов цепей векторных XS-VNA-01 применяют средства поверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применения средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
1	2	3
п.8.1 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средство измерений температуры окружающей среды в диапазоне от +20 до +30 °С с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,5$ °С Средство измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 30 до 80 % с абсолютной погрешностью не более $\pm 3,0$ % Средство измерений атмосферного давления в диапазоне от 86 до 106 кПа с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,2$ кПа	Термогигрометр UNITESS THB 1 модификация THB 1B (рег. номер 70481-18 в ФИФ)
п.10.1 Определение относительной погрешности установки частоты опорного генератора	Средство измерений частоты, соответствующее требованиям к эталонам не ниже 4 разряда по Приказу Росстандарта № 2360 от 26.09.2022, значением 10 МГц с относительной погрешностью не более $\pm 2 \cdot 10^{-7}$ за год	Частотомер универсальный CNT-90 (рег. номер 70888-18 в ФИФ)
п. 10.5 Определение диапазона установки уровня выходной мощности и абсолютной погрешности установки и измерений уровня мощности	Средство измерений мощности электромагнитных колебаний, соответствующее требованиям к эталонам не ниже 3 разряда по Приказу Росстандарта от 30.12.2019 № 3461, рабочего эталона по Приказу Росстандарта № 2813 от 09.11.2022, в диапазоне значений мощности от $3 \cdot 10^{-4}$ до 10^2 мВт, в диапазоне частот от 9 кГц до 50 ГГц	Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ NRP50T (рег. номер 69958-17 в ФИФ)
	Средство измерений отношения мощностей в диапазоне значений от 0 до 60 дБ с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,5$ дБ, в диапазоне частот от 10 МГц до 50 ГГц	Анализатор спектра и сигналов FSW50 (рег. номер 78802-20 в ФИФ)

Продолжение таблицы 2

1	2	3
п. 10.6 Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения	Средство измерений комплексного коэффициента отражения в коаксиальных волноводах, соответствующее требованиям к эталонам не ниже 1 разряда по ГОСТ Р 8.813-2013, в диапазоне значений модуля комплексного коэффициента отражения от 0,002 до 1, в диапазоне значений фазы комплексного коэффициента отражения от 0 до 360°, в диапазоне частот от 10 МГц до 50 ГГц	Наборы мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z270, ZV-Z235, ZV-Z224 (рег. номер 52112-12 в ФИФ)
п. 10.7 Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи	Средство измерений комплексного коэффициента передачи в коаксиальных волноводах, соответствующее требованиям к эталонам не ниже 1 разряда по ГОСТ Р 8.813-2013, значением модуля коэффициента передачи 1, в диапазоне значений фазы комплексного коэффициента передачи от 0 до 360°, в диапазоне частот от 10 МГц до 50 ГГц	Наборы мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z270, ZV-Z235, ZV-Z224 (рег. номер 52112-12 в ФИФ)
	Средство измерений ослабления электромагнитных колебаний, соответствующее требованиям к эталонам не ниже 2 разряда по Приказу Росстандарта № 3383 от 30.12.2019, в диапазоне значений ослабления от 0 до 50 дБ, в диапазоне частот от 10 МГц до 40 ГГц	Аттенюатор ступенчатый R&S RSC с модулем Z405 (рег. номер 48368-11 в ФИФ)
Примечание 1 – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.		

Таблица 3 – Вспомогательное оборудование

Номер пункта документа по поверке	Наименование вспомогательного оборудования	Требуемые технические характеристики вспомогательного оборудования	Рекомендуемое вспомогательное оборудование
1	2	3	4
10.2, 10.3	Нагрузки согласованные (2 шт.) из состава набора мер коэффициентов передачи и отражения	Разъем входа, диапазон частот: N-тип, от 0,01 до 18 ГГц 3,5 мм, от 0,01 до 26,5 ГГц 2,4 мм, от 0,01 до 50 ГГц	Нагрузки согласованные из состава наборов мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z270, ZV-Z235, ZV-Z224

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
10.4	Нагрузки короткозамкнутые (2 шт.) и нагрузки холостого хода (2 шт.) из состава набора мер коэффициентов передачи и отражения	Разъем входа, диапазон частот: N-тип, от 0,01 до 18 ГГц 3,5 мм, от 0,01 до 26,5 ГГц 2,4 мм, от 0,01 до 50 ГГц	Нагрузки короткозамкнутые и нагрузки холостого хода из состава наборов мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z270, ZV-Z235, ZV-Z224
10.6, 10.7	Наборы калибровочных мер	Разъем входа, диапазон частот: N-тип, от 0,01 до 18 ГГц 3,5 мм, от 0,01 до 26,5 ГГц 2,4 мм, от 0,01 до 50 ГГц	Набор калибровочных мер из комплекта анализатора
10.5, 10.7	Кабели СВЧ измерительные, (2 шт.)	Разъем входа, диапазон частот: N-тип, от 0,01 до 18 ГГц 3,5 мм, от 0,01 до 26,5 ГГц 2,4 мм, от 0,01 до 50 ГГц	Кабели СВЧ измерительные из комплекта анализатора
Примечание – Требуемый разъем входа и диапазон частот вспомогательного оборудования должен соответствовать диапазону частот поверяемого анализатора			

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

6.1 При проведении поверки необходимо соблюдать:

- общие правила техники безопасности в соответствии с требованиями ГОСТ 12.2.003 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности»;
- «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок», утвержденные Приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 г. № 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок»;
- указания по технике безопасности, приведенные в эксплуатационной документации на средства поверки;
- указания по технике безопасности, приведенные в эксплуатационной документации на анализаторы.

6.2 К проведению поверки допускаются специалисты, изучившие требования безопасности по ГОСТ 22261-94 «Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия. с Изменением №1» и ГОСТ 12.2.091-2002 «Безопасность электрических контрольно-измерительных приборов и лабораторного оборудования. Часть 1. Общие требования», имеющие 3 группу допуска по электробезопасности и прошедшие инструктаж по технике безопасности на рабочем месте.

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

7 Внешний осмотр средства измерений

При проведении внешнего осмотра установить соответствие анализаторов следующим требованиям:

- внешний вид анализаторов должен соответствовать фотографиям, приведённым в описании типа на данное средство измерений;
- наличие маркировки, подтверждающей тип, и серийный номер;
- наличие пломб от несанкционированного доступа, установленных в местах согласно описанию типа на данное средство измерений;
- наружная поверхность не должна иметь следов механических повреждений, которые могут влиять на работу прибора и его органов управления;
- разъемы должны быть чистыми;
- у СВЧ соединителей должны отсутствовать механические повреждения (вмятины, забоины, отслаивания покрытия и т. д.) и заусенцы на контактных и токонесущих поверхностях;
- комплектность анализатора должна соответствовать указанной в технической документации фирмы-изготовителя.

При необходимости провести чистку СВЧ соединителей. Процедура чистки соединителей включает в себя продувку соединителей сжатым воздухом (использовать баллончик со сжатым воздухом или резиновую грушу) с целью удаления частиц пыли и частиц отслоившихся токопроводящих покрытий и протирку токоведущих поверхностей соединителей спиртом этиловым ректификованным. Протирку производить при помощи ватной палочки, смоченной в спирте.

После протирки просушить соединители и убедиться в отсутствии остатков спирта внутри соединителей. Провести визуальный контроль чистоты соединителей, убедиться в отсутствии посторонних частиц. В случае необходимости, чистку повторить.

Результаты выполнения операции считать положительными, если выполняются вышеуказанные требования.

Установленный факт отсутствия пломб от несанкционированного доступа при периодической поверке не является критерием неисправности средства измерения и носит информативный характер для производителя средства измерений и сервисных центров, осуществляющих ремонт.

Факт отсутствия пломб от несанкционированного доступа при периодической поверке фиксируется в протоколе поверке в соответствующем разделе.

При получении отрицательных результатов по данной операции, процедуру поверки необходимо прекратить, результаты поверки оформить в соответствии с п.12 данной методики поверки.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Контроль условий поверки

Проверить соблюдение условий проведения поверки на соответствие разделу 3 настоящей методики поверки.

8.2 Подготовка к поверке

Порядок установки анализатора на рабочее место, включения, управления и дополнительная информация приведены в руководстве по эксплуатации: «Анализаторы цепей векторные XS-VNA-01». Руководство по эксплуатации».

Выдержать анализатор в выключенном состоянии в условиях проведения поверки

не менее двух часов, если он находился в отличных от них условиях.

Подключить анализатор к сети питания. Включить прибор согласно РЭ. Выдержать анализатор во включенном состоянии не менее 60 минут.

Выдержать средства поверки во включенном состоянии в течение времени, указанного в их руководствах по эксплуатации.

8.3 Опробование

При опробовании проверяется работоспособность анализатора.

Проверить отсутствие сообщений о неисправности на экране анализатора после включения прибора.

На анализаторе установить заводскую конфигурацию прибора, для чего выполнить следующие установки:

- [**Preset**]

Результаты опробования считать удовлетворительными, если после включения и загрузки программного обеспечения анализатора не возникают сообщения об ошибках; после загрузки заводской конфигурации устанавливается уровень выходной мощности минус 5 дБ (1 мВт), на экране прибора отображается измерительная трасса коэффициента отражения S11 в полном диапазоне частот анализатора.

При получении отрицательных результатов по данной операции, процедуру поверки необходимо прекратить, результаты поверки оформить в соответствии с п.12 данной методики поверки.

9 Идентификация программного обеспечения

9.1. Идентификационное наименование и номер версии программного обеспечения анализатора, а также информация об установленных опциях, отображаются при нажатии клавиш:

- [**System: Help: About VNA**]

Номер версии ПО должен соответствовать указанному в описании типа на данное средство измерений.

При получении отрицательных результатов по данной операции, процедуру поверки необходимо прекратить, результаты поверки оформить в соответствии с п.12 данной методики поверки.

10 Определение метрологических характеристик средства измерений

10.1 Определение относительной погрешности установки частоты опорного генератора

Определение относительной погрешности установки частоты опорного генератора проводят методом прямых измерений с помощью частотомера универсального CNT-90.

Выполнить соединение средств измерений СИ в соответствии со схемой, приведённой на рис. 1.



Рисунок 1

Измерить частоту опорного генератора анализатора, зафиксировать результаты измерений $F_{\text{изм}}$.

Примечание – здесь и далее фиксация результатов измерений, необходимых для п.11, производится в произвольной форме.

10.2 Определение динамического диапазона при полосе пропускания фильтра ПЧ 10 Гц

Определение динамического диапазона анализатора проводят методом прямых измерений, путём измерения анализатором усредненных значений коэффициента передачи между неподключенными друг к другу измерительными портами анализатора при максимальном уровне выходной мощности.

Подключить к измерительным портам анализатора 1 и 2 нагрузки согласованные.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas** : S21 (и также S12)];
- [**Power** : Power Level: 15 dBm];
- [**Avg BW**: IF Bandwidth : 10 Hz];
- [**Sweep** : Points : 501];
- [**Avg BW**: Averaging: 10].

После завершения процесса усреднения, при помощи маркера, определить максимальное значение измерительной трассы S21 (а также S12) в диапазоне рабочих частот.

Провести аналогичные измерения для остальных портов анализатора, используя порт 1 в качестве опорного и выбирая измерения трасс S_{i1} (а также S_{1i}), где i- номер используемого порта.

10.3 Определение среднего уровня собственных шумов приемников

Определение среднего уровня собственных шумов приемников анализатора проводят методом прямых измерений, путём измерения анализатором усредненных значений уровня мощности приемным каналом анализатора при отсутствии входного сигнала.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas** : Waves: b1 Source Port 1] (для порта 1);
- [**Power** : Power Level: -20 dBm];
- [**Power** : Main : RF Power OFF];
- [**Avg BW** : IF Bandwidth : 1 kHz];
- [**Sweep** : Points : 501];
- [**Avg BW** > Averaging: 10].

Подключить к измерительным портам 1 и 2 анализатора нагрузки согласованные.

После завершения процесса усреднения, при помощи маркера, определить максимальное значение измерительной трассы «b1 Source Port 1» в диапазоне рабочих частот.

Вычислить средний уровень собственных шумов приемников, приведенный к полосе пропускания 1 Гц, путем вычитания из измеренного максимального значения измерительной трассы «b1 Source Port 1» величины 30 дБ.

Установить параметры анализатора:

- [**Meas** : Wave Quantities : b2 Source Port 1] (для порта 2).

После завершения процесса усреднения, при помощи маркера, определить максимальное значение измерительной трассы «b2 Source Port 1» в диапазоне рабочих частот. Вычислить средний уровень собственных шумов приемников, приведенный к полосе пропускания 1 Гц, путем вычитания из измеренного максимального значения измерительной трассы «b2 Source Port 1» величины 30 дБ.

Провести аналогичные измерения для остальных портов анализатора, используя порт 1 в качестве опорного и выбирая измерения трасс «bi Source Port 1», где i- номер используемого порта.

10.4 Определение амплитудного значения шумов измерительной трассы

Определение амплитудного значения шумов измерительной трассы анализатора проводят методом прямых измерений, путём измерения анализатором максимальных значений флюктуаций измерительной трассы при измерении модуля и фазы коэффициента отражения при подключении к входам анализатора нагрузок короткозамкнутых и холостого хода.

Подключить к измерительным портам 1 и 2 анализатора нагрузки короткозамкнутые.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas** : S11 (а также S22)];
- [**Power** : Power Level: -5 dBm];
- [**Avg BW** : IF Bandwidth : 1 kHz];
- [**Sweep** : Points : 1001];
- [**Math** : Data>Memory : Normalize];

Скрыть отображение трассы Mem2:

- [**Trace** : Trace Setup : Trace Data Show: Hide].

Выполнить автомасштабирование измерительной трассы.

Определить частоты, где наблюдается максимальное значение флюктуаций измерительной трассы.

Зафиксировать измеренные максимальные значения флюктуаций измерительной трассы при измерении модуля коэффициента отражения Γ_{SHORT} в дБ, установив на анализаторе:

- [**Format** : dB Mag].

Зафиксировать измеренные максимальные значения флюктуаций измерительной трассы при измерении фазы коэффициента отражения Φ_{SHORT} в градусах, установив на анализаторе:

- [**Format** : Phase].

Подключить к измерительным портам 1 (2) анализатора нагрузки холостого хода.

Зафиксировать измеренные максимальные значения флюктуаций измерительной трассы при измерении модуля и фазы коэффициента отражения Γ_{OPEN} в дБ и Φ_{OPEN} в градусах.

За амплитудные значения шумов измерительной трассы принять максимальные значения из Γ_{SHORT} и Γ_{OPEN} по модулю и максимальные значения из Φ_{SHORT} и Φ_{OPEN} по фазе коэффициента отражения.

Провести аналогичные измерения для остальных портов анализатора, выбирая измерения трасс «Sii», где i- номер используемого порта.

10.5 Определение диапазона установки уровня выходной мощности и абсолютной погрешности установки и измерений уровня мощности

Определение диапазона установки уровня выходной мощности и абсолютной погрешности установки и измерений уровня мощности проводят методом прямых измерений с помощью ваттметра поглощаемой мощности СВЧ NRP50T и анализатора спектра и сигналов FSW50.

10.5.1 Для определения абсолютной погрешности установки уровня мощности минус 10 дБ (1 мВт) и абсолютной погрешности измерений уровня мощности минус 10 дБ (1 мВт) опорным каналом анализатора подключить ваттметр NRP50T к измерительному порту 1 анализатора через переход измерительный и измерить уровень мощности. Измерения, в зависимости от опции частотного диапазона анализатора, проводить на следующих фиксированных частотах $f_{изм}$: 10 МГц; 50 МГц; 100 МГц; 500 МГц; от 1 ГГц до 13 ГГц с шагом 1 ГГц; 13,5 ГГц; от 15 до 25 ГГц с шагом 2 ГГц; 26,5 ГГц; от 27 ГГц до 43 ГГц с шагом 2 ГГц; 43,5 ГГц; от 44 до 50 ГГц с шагом 2 ГГц. Последовательность операций описана ниже.

Подготовить к работе ваттметр NRP50T в соответствии с его руководством по эксплуатации.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas** : Waves: a1 Source Port 1] (для порта 1);
- [**Sweep** : Sweep Type : CW Mode];
- [**Sweep** : Points 5];
- [**Avg BW** : IF Bandwidth : 100 Hz];
- [**Power** : Power Level: -10 dBm];
- [**Freq** : CW Freq : $f_{изм}$];
- [**Marker**].

Измерить ваттметром уровень выходной мощности на порте анализатора ($P_{1изм}$ в дБ (1мВт)).

Зафиксировать измеренное маркером значение мощности в опорном канале анализатора:

- M1: ($P_{2изм}$ в дБ (1 мВт)).

10.5.2 Для определения абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности минус 20 дБ (1 мВт) повторить измерения уровня мощности $P_{1изм}$ на указанных в п. 10.5.1 частотах, установив на анализаторе уровень выходной мощности $P_{уст}$ минус 20 дБ (1 мВт):

- [**Power** : Power Level: -20 dBm].

10.5.3 Для определения абсолютной погрешности установки максимального уровня выходной мощности повторить измерения уровня мощности $P_{1изм}$ на указанных в п. 10.5.1 частотах, установив на анализаторе уровень максимальный выходной мощности $P_{уст}$ в соответствии со значениями, приведенными в таблице 8:

- [**Power** : Power Level: $P_{уст}$].

10.5.4 При наличии в анализаторе опции внутренних аттенуаторов источников (опции 201, 251, 401, 451, 202, 252, 402, 452, 203, 253, 403, 453) определить абсолютную погрешность установки уровня выходной мощности в диапазоне от минус 20 до минус 80 дБ (1 мВт). Для этого подключить анализатор спектра и сигналов FSW50 к измерительному порту 1 анализатора через переход измерительный и кабель СВЧ в соответствии с рисунком 2.

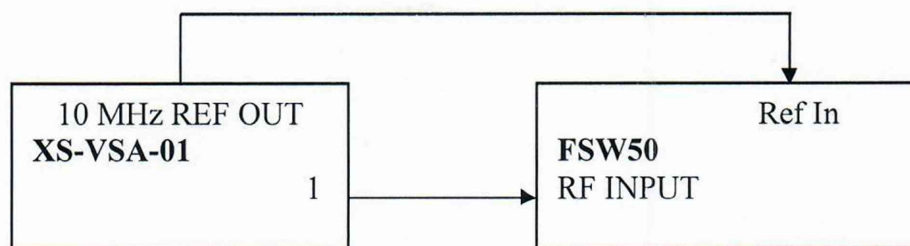


Рисунок 2

Установить параметры анализатора:

- [**Power** : Power Level: -20 dBm];
- [**Freq** : CW Freq : $f_{\text{ИЗМ}}$].

где $f_{\text{ИЗМ}} = 13,5$ ГГц для анализатора с опцией F13; $f_{\text{ИЗМ}} = 26,5$ ГГц для анализатора с опцией F26; $f_{\text{ИЗМ}} = 43$ ГГц для анализатора с опцией F43; $f_{\text{ИЗМ}} = 48$ ГГц для анализатора с опцией F50.

На анализаторе спектра и сигналов FSW50 установить режим работы от внешнего источника опорного сигнала частотой 10 МГц, центральную частоту $f_{\text{ИЗМ}}$, полосу обзора 1 МГц, полосу 1 кГц и выбрать режим относительных измерений уровня сигнала (установить «0 дБ»).

Уменьшая выходной уровень анализатора $P_{\text{УСТ}}$ с шагом 10 дБ, провести измерения до уровня минус 80 дБ (1 мВт). Зафиксировать результаты измерений $P_{\text{М}}$.

10.5.5 Провести аналогичные измерения по пп. 10.5.1 – 10.5.4 для остальных портов анализатора, установив предварительно параметр:

- [**Meas** : Waves: ai Source Port i],
- где i- номер используемого порта.

10.5.6 Для определения абсолютной погрешности измерений уровня мощности минус 10 дБ (1 мВт) приемным каналом анализатора в диапазоне частот подключить кабель СВЧ к измерительному порту 1 анализатора. К свободному концу кабеля СВЧ подключить ваттметр NRP50T через переход измерительный и провести измерения мощности. Отключить ваттметр от кабеля и свободный конец кабеля подключить к порту 2 анализатора. Измерить уровень мощности в приемнике b2 анализатора.

Измерения проводить на фиксированных частотах $f_{\text{ИЗМ}}$, указанных выше в п. 10.5.1.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas** : Waves: b2 Source Port 1];
- [**Sweep** : Sweep Type : CW Mode];
- [**Sweep** : Points 5];
- [**Avg BW** : IF Bandwidth : 100 Hz];
- [**Power** : Power Level: -10 dBm];
- [**Freq** : CW Freq : $f_{\text{ИЗМ}}$];
- [**Marker**].

Измерить уровень мощности $P_{1\text{ИЗМ}}$ в дБ (1 мВт) на выходе кабеля СВЧ с помощью ваттметра. Зафиксировать результат измерений.

Отключить ваттметр от кабеля и свободный конец кабеля подключить к порту 2 анализатора. Зафиксировать измеренное значение мощности в приемнике b2 анализатора:

- M1: ($P_{2\text{ИЗМ}}$ в дБ (1 мВт)).

10.5.7 Провести аналогичные измерения для остальных портов анализатора, установив

предварительно параметр:

- [**Meas** : Waves: bi Source Port 1],
где i- номер используемого порта.

Повторить операции для измерительного канала порта 1 (b1), используя в качестве источника любой другой измерительный порт.

10.6 Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения.

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения проводят методом прямых измерений с помощью эталонных нагрузок из наборов ZV-Z270, ZV-Z235, ZV-Z224 (в зависимости от диапазона частот анализатора) после выполнения полной однопортовой калибровки анализатора с помощью набора калибровочных мер из комплекта анализатора. В процессе проведения калибровки и в процессе последующих измерений, температура окружающей среды должна быть в пределах 25 ± 3 °С. Подключение калибровочных и эталонных мер производить с использованием ключа тарированного из набора калибровочных мер.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas** : S11];
- [**Power** : Power Level: -5 dBm];
- [**Avg BW** : IF Bandwidth : 10 Hz].

Установить количество точек таким, чтобы частоты измерений и частоты поверки эталонных мер из наборов мер коэффициентов передачи и отражения совпадали, для исключения погрешности интерполяции между точками.

Выполнить однопортовую калибровку порта 1 в соответствии указаниями руководства по эксплуатации анализатора.

После выполнения калибровки подключать к порту 1 эталонную нагрузку короткозамкнутую из набора ZV-Z270, ZV-Z235, ZV-Z224 (в зависимости от диапазона частот анализатора).

Выбрать для трассы S11 формат отображения модуля коэффициента отражения в отн. ед.:

- [**Format** : Lin Mag].

Произвести автомасштаб измеряемых данных.

Измерить с помощью маркеров модуль коэффициента отражения нагрузки $\Gamma_{\text{изм}}$ в отн. ед. в частотных точках (в зависимости от диапазона частот анализатора): 10, 1000, 2000, 5000, 8000, 13500, 18000, 20000, 26500, 32000, 36000, 40000, 43500, 47000, 50000 МГц. Зафиксировать результаты измерений $\Gamma_{\text{изм}}$.

Выбрать для трассы S11 формат отображения фазы коэффициента отражения в градусах:

- [**Format** : Phase].

Произвести автомасштаб измеряемых данных.

Измерить с помощью маркеров фазу коэффициента отражения нагрузки $\Phi_{\text{изм}}$ в градусах в указанных выше частотных точках. Зафиксировать результаты измерений $\Phi_{\text{изм}}$.

Повторить измерения при подключении к порту 1 нагрузки холостого хода и нагрузки согласованной из состава набора мер коэффициентов передачи и отражения.

Провести аналогичные измерения для остальных портов анализатора, установив предварительно параметр:

- [**Meas** : Sii].
где i- номер используемого порта.

10.7 Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи

Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи проводят методом прямых измерений с помощью эталонных мер коэффициента передачи из наборов ZV-Z270, ZV-Z235, ZV-Z224 (в зависимости от диапазона частот анализатора) и аттенюатора ступенчатого RSC после выполнения полной двухпортовой калибровки анализатора с помощью 2-х кабелей СВЧ и набора калибровочных мер из комплекта анализатора. В процессе проведения калибровки и в процессе последующих измерений, температура окружающей среды должна быть в пределах 25 ± 3 °С. Подключение кабелей СВЧ, калибровочных и эталонных мер производить с использованием ключа тарированного из набора калибровочных мер.

Установить параметры анализатора:

- [**Preset**];
- [**Meas** : S21];
- [**Power** : Power Level: -5 dBm];
- [**Avg BW** : IF Bandwidth : 10 Hz].

Установить количество точек таким, чтобы частоты измерений и частоты поверки эталонных мер из наборов мер коэффициентов передачи и отражения совпадали, для исключения погрешности интерполяции между точками.

Подключить кабели СВЧ к измерительным портам 1 и 2 анализатора. Выполнить полную двухпортовую калибровку в конфигурации «вилка»-«вилка» в соответствии с указаниями руководства по эксплуатации анализатора.

10.7.1 Подключить к порту 1 и порту 2 через кабели СВЧ эталонную меру коэффициента передачи из набора ZV-Z270, ZV-Z235, ZV-Z224 (в зависимости от диапазона частот анализатора).

Выбрать для трассы S21 формат отображения модуля коэффициента передачи в дБ:

- [**Format** : dB Mag].

Произвести автомасштаб измеряемых данных.

Измерить с помощью маркеров модуль коэффициента передачи меры $A_{изм}$ в дБ, в частотных точках (в зависимости от диапазона частот анализатора): 10, 1000, 2000, 5000, 8000, 13500, 18000, 20000, 26500, 32000, 36000, 40000, 43500, 47000, 50000 МГц. Зафиксировать результаты измерений $K_{Пизм}$.

Выбрать для трассы S11 формат отображения фазы коэффициента передачи в градусах:

- [**Format** : Phase].

Произвести автомасштаб измеряемых данных.

Измерить с помощью маркеров фазу коэффициента передачи нагрузки $\Phi_{изм}$ в градусах, в указанных выше частотных точках. Зафиксировать результаты измерений $\Phi_{изм}$.

10.7.2 Подключить к порту 1 и порту 2 через кабели СВЧ эталонную меру коэффициента передачи - аттенюатор ступенчатый RSC.

На анализаторе провести учет вносимого ослабления эталонной меры, выполнив для трассы:

- [**Math** : Data>Memory : Normalize];

Скрыть отображение трассы Mem2:

- [**Trace** : Trace Setup : Trace Data Show: Hide].

На аттенюаторе поочередно устанавливать номинальные значения разностного ослабления из ряда 10; 20; 30; 40; 50 дБ.

Определить с помощью маркеров значения модуля $A_{изм}$ в дБ в диапазоне рабочих частот в точках поверки эталонной меры.

Для 4-х портового анализатора провести аналогичные измерения для 3 и 4 портов, установив предварительно параметр:

– [Meas : S34].

11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

11.1 Для полученных в пункте 10.1 результатов измерений $F_{\text{изм}}$, рассчитать по формуле (1) относительную погрешность установки частоты опорного генератора δF :

$$\delta F = \frac{F_{\text{изм}} - F_{\text{ном}}}{F_{\text{ном}}} \quad (1)$$

где $F_{\text{изм}}$ – измеренное значение частоты, Гц;
 $F_{\text{ном}}$ – установленное значение частоты, Гц (10 МГц).

Результаты поверки по данной операции считаются удовлетворительными, если рассчитанное значение относительной погрешности установки частоты опорного генератора δF не выходит за пределы $\pm 1 \cdot 10^{-6}$.

11.2 Результаты поверки по пункту 10.2 считаются удовлетворительными, если модуль измеренного максимального значения измерительной трассы не менее значений, указанных в таблице 4.

Таблица 4

Наименование характеристики		Значение	
1		2	
Динамический диапазон при полосе пропускания 10 Гц, в зависимости от опции, в диапазоне частот, дБ, не менее	F13	от 10 МГц до 1 ГГц включ.	105
		св. 1 до 4 ГГц включ.	120
		св. 4 до 10 ГГц включ.	127
		св. 10 до 13,5 ГГц	120
	F26	от 10 МГц до 1 ГГц включ.	90
		св. 1 до 4 ГГц включ.	120
		св. 4 до 10 ГГц включ.	127
		св. 10 до 20 ГГц включ.	120
		св. 20 до 24 ГГц включ	115
		св. 24 до 26,5 ГГц	110
	F43	от 10 МГц до 1 ГГц включ.	80
		св. 1 до 13,5 ГГц включ.	119
		св. 13,5 до 26,5 ГГц включ.	115
		св. 26,5 до 35 ГГц включ.	110
		св. 35 до 40 ГГц включ	105
F50	от 10 МГц до 1 ГГц включ.	80	
	св. 1 до 13,5 ГГц включ.	119	
	св. 13,5 до 26,5 ГГц включ.	115	
	св. 26,5 до 35 ГГц включ.	110	
	св. 35 до 43,5 ГГц включ	100	
		св. 43,5 до 50 ГГц	95

11.3 Результаты поверки по пункту 10.3 считаются удовлетворительными, если средний уровень собственных шумов приемников, приведенный к полосе пропускания 1 Гц не более значений, указанных в таблице 5.

Таблица 5

Наименование характеристики	Значение	
Средний уровень собственных шумов приемников сигнала, приведенный к полосе пропускания 1 Гц, в диапазоне частот, дБ (1 мВт), не более	от 10 МГц до 1 ГГц включ.	-74
	св. 1 до 13,5 МГц включ.	-119
	св. 13,5 до 26,5 МГц включ.	-115
	св. 26,5 до 30 ГГц включ.	-110
	св. 30 до 43,5 ГГц включ.	-105
	св. 43,5 до 50 ГГц	-90

11.4 Результаты поверки по пункту 10.4 считаются удовлетворительными, если амплитудные значения шумов измерительной трассы при измерении модуля/фазы коэффициента отражения не более значений, указанных в таблице 6.

Таблица 6

Наименование характеристики	Значение	
	модуль	фаза
Амплитудное значение шумов измерительной трассы при измерении модуля/фазы коэффициента отражения для уровня выходной мощности 0 дБ (1 мВт), коэффициента отражения 0 дБ, в полосе пропускания 1 кГц, в диапазоне частот, дБ/градус, не более	от 10 до 100 МГц включ.	1
	св. 100 МГц до 13,5 ГГц включ.	0,3
	св. 13,5 до 50 ГГц	0,1

11.5 Для полученных в пункте 10.5.1, 10.5.2, 10.5.3 результатов измерений, рассчитать по формуле (2) абсолютную погрешность установки уровня выходной мощности $\Delta P_{уст}$:

$$\Delta P_{уст} = P_{1изм} - P_{уст}, \text{ дБ} \quad (2)$$

где $P_{уст}$ – установленный на анализаторе уровень мощности, дБ (1 мВт);

$P_{1изм}$ - показания ваттметра для указанных частот, дБ (1 мВт).

Для полученных в пункте 10.5.1 результатов измерений, рассчитать по формуле (3) абсолютную погрешность измерений уровня мощности минус 10 дБ (1 мВт) в опорном канале анализатора $\Delta P_{оп}$:

$$\Delta P_{оп} = P_{2изм} - P_{1изм}, \text{ дБ} \quad (3)$$

где $P_{2изм}$ - измеренное значение мощности в опорном канале анализатора для указанных частот, дБ (1 мВт);

$P_{1изм}$ - показания ваттметра для указанных частот, дБ (1 мВт).

Для полученных в пункте 10.5.4 результатов измерений, рассчитать по формуле (4) абсолютную погрешность установки уровня выходной мощности $\Delta P_{уст}$:

$$\Delta P_{уст} = P_{м} - 20 - P_{уст} + \Delta P_{уст(-20)}, \text{ дБ} \quad (4)$$

где $P_{м}$ - показания анализатора на частоте поверки, дБ;

$P_{уст}$ – установленный на анализаторе уровень мощности, дБ (1 мВт).;

$\Delta P_{уст(-20)}$ - абсолютная погрешность установки уровня выходной мощности минус 20 дБ (1 мВт) на частоте поверки, рассчитанная по формуле (2), дБ.

Для полученных в пункте 10.5.6 результатов измерений, рассчитать по формуле (5) абсолютную погрешность измерений уровня мощности минус 10 дБ (1 мВт) в измерительном канале анализатора $\Delta P_{изм}$:

$$\Delta P_{изм} = P_{2изм} - P_{1изм}, \text{ дБ} \quad (5)$$

где $P_{1изм}$ - показания ваттметра для указанных частот, дБ (1 мВт);

$P_{2изм}$ - измеренное значение мощности в измерительном канале анализатора для указанных частот, дБ (1 мВт).

Результаты поверки по пункту 10.5 считаются удовлетворительными, если для всех указанных частот рассчитанные значения абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности и абсолютной погрешности измерений уровня мощности минус 10 дБ (1 мВт) не выходят за пределы, указанные в таблице 7, максимальный и минимальный уровень выходной мощности соответствуют значениям, указанным в таблице 8.

Таблица 7

Наименование характеристики		Значение
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности, в диапазоне частот, дБ	от 10 МГц до 26,5 ГГц включ.	±2,5
	св. 26,5 до 50 ГГц	±3
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности минус 10 дБ (1 мВт), дБ	от 10 МГц до 26,5 ГГц включ.	±3
	св. 26,5 до 50 ГГц	±5

Таблица 8

Наименование характеристики		Значение	
1		2	
Максимальный уровень выходной мощности $P_{уст}$, в зависимости от опции, в диапазонах частот, дБ (1 мВт), не менее	F13	от 10 МГц до 4 ГГц включ.	10
		св. 4 до 13,5 ГГц	8
	F26	от 10 МГц до 26,5 ГГц	10
		F43	от 10 МГц до 26,5 ГГц включ.
	св. 26,5 до 43 ГГц		9
	F50	от 10 МГц до 26,5 ГГц включ.	10
		св. 26,5 до 35 ГГц включ.	6
св. 35 до 43,5 ГГц включ.		2	
св. 43,5 до 50 ГГц		-5	
Минимальный уровень выходной мощности, дБ (1 мВт), не более	штатно	-20	
	опции 201, 251, 401, 451, 202, 252, 402, 452, 203, 253, 403, 453	-80	

11.6 Для полученных в пункте 10.6 результатов измерений, рассчитать по формулам (6) и (6а) абсолютную погрешность измерений модуля $\Delta \Gamma$ и фазы $\Delta \Phi$ коэффициента отражения:

$$\Delta \Gamma = \Gamma_{изм} - \Gamma_{эт}, \text{ отн. ед.} \quad (6)$$

$$\Delta \Phi = \Phi_{изм} - \Phi_{эт}, \text{ градус} \quad (6а)$$

где $\Gamma_{\text{ЭТ}}$ – модуль коэффициента отражения эталонной меры на частоте поверки, отн. ед.;
 $\Phi_{\text{ЭТ}}$ – фаза коэффициента отражения эталонной меры на частоте поверки, градус.

Результаты поверки по пункту 10.6 считаются удовлетворительными, если значения абсолютной погрешности измерений модуля $\Delta\Gamma$ и фазы $\Delta\Phi$ коэффициента отражения не выходят за пределы, указанные в таблице 9.

Таблица 9

Наименование характеристики		Значение		
1		2		
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля/фазы коэффициента отражения, в зависимости от модуля коэффициента отражения (КО), отн. ед./градус, в диапазоне частот	Диапазон частот от 10 МГц до 13,5 ГГц включ.	КО	$\Delta\Gamma$	$\Delta\Phi$
		0	$\pm 0,010$	-
		0,09	$\pm 0,011$	$\pm 7,4$
		0,33	$\pm 0,015$	$\pm 3,1$
	св. 13,5 до 18 ГГц включ.	1	$\pm 0,046$	$\pm 3,1$
		0	$\pm 0,013$	-
		0,09	$\pm 0,014$	$\pm 9,4$
		0,33	$\pm 0,019$	$\pm 3,8$
	св. 18 до 26,5 ГГц включ.	1	$\pm 0,059$	$\pm 3,9$
		0	$\pm 0,014$	-
		0,09	$\pm 0,015$	$\pm 10,0$
		0,33	$\pm 0,020$	$\pm 4,0$
	св. 26,5 до 43,5 ГГц включ.	1	$\pm 0,060$	$\pm 3,9$
		0	$\pm 0,018$	-
		0,09	$\pm 0,019$	$\pm 12,6$
		0,33	$\pm 0,024$	$\pm 4,7$
	св. 43,5 до 50 ГГц	1	$\pm 0,064$	$\pm 4,2$
		0	$\pm 0,025$	-
		0,09	$\pm 0,026$	$\pm 17,3$
		0,33	$\pm 0,034$	$\pm 6,3$
		1	$\pm 0,091$	$\pm 5,7$

11.7 Для полученных в пункте 10.7 результатов измерений, рассчитать по формулам формулам (7) и (7а) абсолютную погрешность измерений модуля ΔA и фазы $\Delta\Phi$ коэффициента передачи:

$$\Delta A = A_{\text{изм}} - A_{\text{ЭТ}}, \text{ дБ} \quad (7)$$

$$\Delta\Phi = \Phi_{\text{изм}} - \Phi_{\text{ЭТ}}, \text{ градус} \quad (7a)$$

где $A_{\text{ЭТ}}$ – модуль коэффициента передачи эталонной меры на частоте поверки, дБ;
 $\Phi_{\text{ЭТ}}$ – фаза коэффициента передачи эталонной меры на частоте поверки, градус.

Результаты поверки по пункту 10.7 считаются удовлетворительными, если значения абсолютной погрешности измерений модуля ΔA и фазы $\Delta\Phi$ коэффициента передачи не выходят за пределы, указанные в таблице 10.

Таблица 10

Наименование характеристики	Значение		
	ΔA	$\Delta \Phi$	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля/фазы коэффициента передачи в диапазоне модулей коэффициента передачи от минус 50 до 0 дБ, дБ/градус, в диапазоне частот	Диапазон частот от 10 МГц до 13,5 ГГц включ.	$\pm 0,1$	± 2
	св. 13,5 до 26,5 ГГц включ.	$\pm 0,16$	± 3
	св. 26,5 до 50 ГГц	$\pm 0,2$	$\pm 4,5$

11.8 Критериями принятия специалистом, проводившим поверку, решения по подтверждению соответствия средства измерений метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа, является обязательное выполнение всех процедур, перечисленных в разделах 8.2; 9; 10 и соответствие действительных значений метрологических характеристик анализаторов цепей векторных XS-VNA-01 требованиям, указанным в пунктах 11.1 - 11.7 настоящей методики.

11.9 При получении отрицательных результатов по любой из процедур, перечисленных в разделах 8.2; 9; 10 или несоответствии действительных значений метрологических характеристик анализаторов цепей векторных XS-VNA-01 требованиям, указанным в пунктах 11.1 - 11.7 принимается решение о несоответствии средства измерений метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа.

12 Оформление результатов поверки

12.1 Результаты проверки внешнего осмотра, опробования, идентификации ПО, условий поверки и окончательные результаты измерений (расчетов), полученные в процессе поверки, заносят в протокол поверки произвольной формы.

12.2 Сведения о результатах и объеме проведенной поверки средства измерений в целях её подтверждения передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с Порядком создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений. При оформлении свидетельства о поверке знак поверки наносится на свидетельство о поверке.

12.3 Свидетельство о поверке или извещение о непригодности к применению средства измерений выдаётся по заявлению владельцев средства измерений или лиц, представивших его в поверку. Свидетельство о поверке или извещение о непригодности к применению средства измерений должны быть оформлены в соответствии с требованиями действующих правовых нормативных документов.

Начальник лаборатории № 441
ФБУ «Ростест-Москва»


С. Н. Голышак

Начальник сектора
лаборатории № 441 ФБУ «Ростест-Москва»


А. С. Каледин