



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ПРИКЛАДНОЙ МЕТРОЛОГИИ-РОСТЕСТ»
(ФБУ «НИЦ ПМ - РОСТЕСТ»)**

СОГЛАСОВАНО

Заместитель генерального директора



А.Д. Меньшиков

«04» августа 2025 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ ВЕКТОРНЫЕ С2444

Методика поверки

РТ-МП-955-441-2025

г. Москва
2025 г.

1 Общие положения

Настоящая методика распространяется на анализаторы цепей векторные С2444 (далее по тексту - анализаторы) и устанавливает порядок и объем их первичной и периодической поверки.

При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость поверяемых анализаторов цепей векторных С2444 к государственным первичным эталонам единиц величин:

- государственному первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени (ГЭТ 1-2022) в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, утвержденной приказом Росстандарта от 26 сентября 2022 г. № 2360;

- государственному первичному эталону единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах (ГЭТ 26-2010) в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 9 кГц до 37,5 ГГц, утвержденной приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. № 3461;

- государственному первичному эталону единицы мощности электромагнитных колебаний (ГЭТ 167-2021) в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 37,5 до 118,1 ГГц, утвержденной приказом Росстандарта от 9 ноября 2022 г. № 2813.

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

В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в приложении А.

2 Перечень операций поверки средства измерений

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

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции поверки	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
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений	Да	Да	10
Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	Да	Да	10.1

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Определение абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности 0 дБ (1 мВт)	Да	Да	10.2
Определение абсолютной погрешности измерений уровня входной мощности 0 дБ (1 мВт)	Да	Да	10.3
Определение динамического диапазона при фильтре ПЧ 10 Гц в диапазоне частот	Да	Да	10.4
Определение уровня гармонических и субгармонических составляющих относительно несущей при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт)	Да	Нет	10.5
Определение уровня негармонических составляющих относительно несущей при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт)	Да	Нет	10.6
Определение спектральной плотности мощности фазовых шумов относительно несущей в полосе 1 Гц при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт)	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 18 до 28;
- относительная влажность воздуха, %от 30 до 80.

4 Требование к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки анализаторов цепей векторных С2444 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 С2444 применяют средства поверки, указанные в таблице 2 и вспомогательное оборудование, указанное в таблице 3.

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)	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне от +18 °С до +28 °С с абсолютной погрешностью $\pm 0,5$ °С	Термогигрометр UNITESS THB 1В, рег. № 70481-18
	Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 30 % до 80 % с абсолютной погрешностью $\pm 3,0$ %	
10.1 Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	Эталоны единиц времени и частоты и средства измерений, соответствующие требованиям к рабочим эталонам не ниже 3-го разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 26.09.2022 № 2360; для воспроизведения сигнала опорной частоты 10 МГц	Стандарт частоты рубидиевый GPS-12RG рег. № 70172-18
	Средство измерений единиц времени и частоты, в диапазоне частот от 10 МГц до 44 ГГц с возможностью синхронизации от внешнего источника опорной частоты 10 МГц	Анализатор фазового шума FSWP50 с опцией В1 рег. № 63528-16
10.2 Определение абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности 0 дБ (1 мВт)	Эталоны единиц мощности электромагнитных колебаний и средства измерений, соответствующие требованиям к рабочим эталонам не ниже 3-го разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 30.12.2019 № 3461 и соответствующие требованиям к рабочим эталонам 1-го разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 09.11.2022 № 2813 в диапазоне частот от 10 МГц до 44 ГГц; в диапазоне значений мощности от $3 \cdot 10^{-4}$ до 10^2 мВт	Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ NRP50T, рег. № 69958-17
10.3 Определение абсолютной погрешности измерений уровня входной мощности 0 дБ (1 мВт)	Эталоны единиц мощности электромагнитных колебаний и средства измерений, соответствующие требованиям к рабочим эталонам не ниже 3-го разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 30.12.2019 № 3461 и соответствующие требованиям к рабочим эталонам 1-го разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 09.11.2022 № 2813 в диапазоне частот от 10 МГц до 44 ГГц; в диапазоне значений мощности от $3 \cdot 10^{-4}$ до 10^2 мВт	Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ NRP50T, рег. № 69958-17

Продолжение таблицы 2

1	2	3
10.3 Определение абсолютной погрешности измерений уровня входной мощности 0 дБ (1 мВт) (продолжение)	Средства измерений для воспроизведения синусоидального сигнала в диапазоне частот от 10 МГц до 44 ГГц с уровнем мощности от -10 до 10 дБ (1 мВт)	Генератор сигналов SMA100B, с опцией B150 рег. № 68980-20
10.4 Определение динамического диапазона при фильтре ПЧ 10 Гц в диапазоне частот	Средства измерений комплексного коэффициента передачи в коаксиальных волноводах Модуль коэффициента отражения нагрузок короткозамкнутых в диапазоне частот от 10 МГц до 44 ГГц не менее 0,97	Набор мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z224 рег. №52112-12
10.5 Определение уровня гармонических и субгармонических составляющих относительно несущей при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт)	Средства измерений для измерения параметров спектра и фазового шума синусоидального сигнала в диапазоне частот от 10 МГц до 44 ГГц; уровнем помех, обусловленных гармоническими и субгармоническими искажениями не более минус 30 дБ относительно несущей; уровнем помех, обусловленных негармоническими искажениями не более минус 55 дБ относительно несущей; уровень собственных фазовых шумов не более минус 110 относительно несущей в полосе 1 Гц, для частоты несущей 10 ГГц при отстройке 10 кГц	Анализатор фазового шума FSWP50 с опцией B1 рег. № 63528-16
10.6 Определение уровня негармонических составляющих относительно несущей при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт)		
10.7 Определение спектральной плотности мощности фазовых шумов относительно несущей в полосе 1 Гц при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт)		

Примечание: – 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
10.1 – 10.7	Персональный компьютер	Операционная система Windows 7 и выше; интерфейс USB 2.0	-
10.3	Резистивный делитель мощности	Диапазон частот от 0 Гц до 50 ГГц КСВН не более 1,4; КП между выходами не менее -7,5 дБ; Разность амплитуд между КП плеч не более 0,5 дБ	Делитель мощности ДМС2А-50-05Р

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 ИЕС 61010-1-2014 «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

7.1 При проведении внешнего осмотра установить соответствие анализатора следующим требованиям:

- внешний вид анализатора должен соответствовать фотографиям, приведённым в описании типа на данный анализатор;

- комплектность анализатора соответствует указанной в эксплуатационной документации;

- наличие маркировки, подтверждающей тип средства измерений и серийный номер;
- наличие пломб от несанкционированного доступа, установленных в местах согласно руководству по эксплуатации на данное средство измерений;
- наружная поверхность не имеет следов механических повреждений, которые могут влиять на работу анализатора и его органов управления;
- отсутствуют шумы внутри корпуса, обусловленные наличием незакрепленных деталей;
- кабель USB не имеет повреждений;
- отсутствуют механические повреждения соединителей (вмятины, забоины, отслаивания покрытия и т. д.) и заусенцы на контактных и токонесущих поверхностях анализатора;
- отсутствуют посторонние частицы внутри соединителей анализатора.

7.2 Провести визуальный контроль чистоты соединителей анализатора. В случае обнаружения посторонних частиц провести чистку соединителей. Процедура чистки соединителей включает в себя их продувку 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. Центральный проводник соединителя «розетка» допускается чистить только продувкой сжатым воздухом.

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.

7.3 Результаты выполнения операции считать положительными, если выполняются вышеуказанные требования.

Установленный факт отсутствия пломб от несанкционированного доступа при периодической поверке не является критерием неисправности средства измерений и носит информативный характер для производителя средства измерений.

Факт отсутствия пломб от несанкционированного доступа при периодической поверке фиксируется в протоколе поверки в таблице Б.2 приложения Б.

Результаты внешнего осмотра зафиксировать в таблице Б.2 приложения Б.

7.4 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

8.1.1 Проверить соблюдение условий проведения поверки на соответствие разделу 3 данной методики поверки.

8.1.2 Для контроля условий проведения поверки использовать средства измерений температуры окружающей среды и средства измерений относительной влажности воздуха, указанные в таблице 2. Результаты измерений зафиксировать в таблице Б.1 приложения Б.

8.2 Подготовка к поверке

8.2.1 Ознакомиться с порядком установки анализатора на рабочее место, порядком включения и управления анализатором, приведёнными в руководстве по эксплуатации РЭ 26.51.43.120-200-21477812-2024.

Выдержать анализатор в выключенном состоянии в условиях проведения поверки не

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

Подключить анализатор к персональному компьютеру с помощью кабеля USB. Установить драйвер и программное обеспечение S4VNA для управления анализатором согласно руководству по эксплуатации. Запустить управляющее программное обеспечение. Выдержать анализатор во включенном состоянии не менее 30 минут.

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

8.3 Опробование

8.3.1 При опробовании проверяется работоспособность анализатора и возможность установки на выходе анализатора номинальных значений уровня выходной мощности минус 10 и 0 дБ (1 мВт) и отображения соответствующей трассы.

8.3.2 Запустить управляющее программное обеспечение S4VNA. Проверить, что анализатор подключился к программному обеспечению по индикатору, расположенному в строке состояния.

8.3.3 Установить на анализаторе параметры по умолчанию, тип сканирования линейный от 10 МГц до 44 ГГц, тип измерений «Отклик - Измерение - Опорный приемник - R1(1)».

Установить уровень выходной мощности 0 дБ (1 мВт) и проверить наличие трассы на номинальном уровне 0 дБ (1 мВт). Установить уровень выходной мощности минус 10 дБ (1 мВт) и убедиться в соответствующем изменении трассы.

Повторить для остальных портов, установив на анализаторе тип измерений «Отклик - Измерение - Опорный приёмник - R X(X)», где X – номер проверяемого порта.

8.3.4 Результаты опробования считать удовлетворительными, если при загрузке управляющего программного обеспечения анализатора не возникают сообщения об ошибках; анализатор подключается к программному обеспечению по индикатору, расположенному в строке состояния; после выдержки анализатора во включенном состоянии не менее 30 минут на всех портах анализатора обеспечивается индикация мощности опорного приемника для номинальных уровней 0 и минус 10 дБ (1 мВт). Результаты опробования зафиксировать в таблице Б.3 приложения Б.

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

9 Проверка программного обеспечения

9.1. Анализатор работает под управлением внешнего персонального компьютера с установленным программным обеспечением. Для проверки номера версии программного обеспечения:

- запустить управляющее программное обеспечение S4VNA;
- проверить, что анализатор подключился к программному обеспечению по индикатору, расположенному в строке состояния;
- проверить номер версии программного обеспечения. Номер версии ПО отображается при нажатии в строке меню:

[Система: О программе] в окошке Версия программы.

Зафиксировать номер версии ПО в таблице Б.4 приложения Б.

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

9.2 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 выходного сигнала

Определение диапазона частот и относительной погрешности установки частоты выходного сигнала проводят методом прямых измерений с помощью анализатор фазового шума FSWP50 работающего в режиме внешней опорной частоты, от стандарта частоты рубидиевого GPS-12RG, который используется в качестве опорного генератора.

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

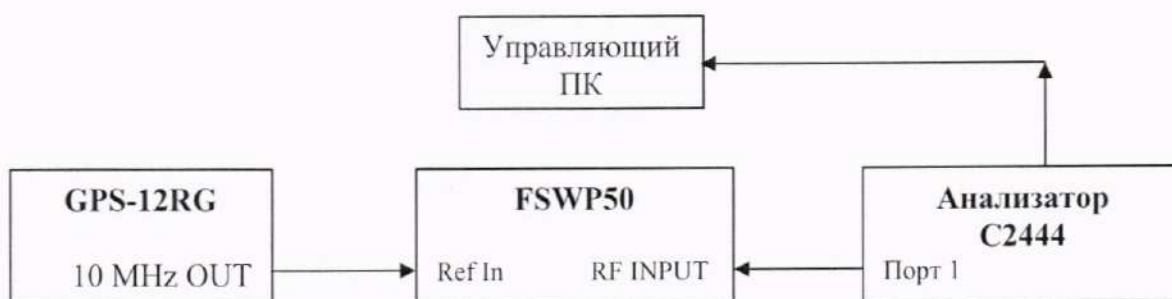


Рисунок 1 – Структурная схема соединения СИ для определения относительной погрешности установки частоты выходного сигнала

10.1.2 Подключить первый порт поверяемого анализатора к входу FSWP50. Установить на поверяемом анализаторе параметры по умолчанию, частоту выходного сигнала 10 МГц, уровень выходной мощности минус 10 дБ (1 мВт), полосу сканирования 0 Гц, триггер запуска сканирования в положение “Однократно”.

10.1.3 На FSWP50 установить режим анализатора спектра, опорный уровень минус 10 дБ (1 мВт), центральную частоту 10 МГц, полосу обзора 10 кГц, полосу пропускания 1 кГц, аттенюатор – авто, режим измерения частоты с разрешением 0,001 Гц.

10.1.4 Измерить частоту выходного сигнала поверяемого анализатора с помощью FSWP50. Зафиксировать результаты измерений как $F_{1П}$ в таблице Б.5 приложения Б.

10.1.5 Повторить измерения на частотах F_A : 1; 20; 44 ГГц, при этом устанавливая полосу обзора на FSWP50 удобную для наблюдения отклика сигнала. Зафиксировать результаты измерений $F_{1П}$ в таблице Б.5 приложения Б.

10.1.6 Повторить измерения по пунктам 10.1.2-10.1.5 для третьего порта. Зафиксировать результаты измерений $F_{3П}$ в таблице Б.5 приложения Б.

10.2 Определение абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности 0 дБ (1 мВт)

Определение абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности 0 дБ (1 мВт) проводят методом прямых измерений с помощью ваттметра поглощаемой мощности NRP50T (далее – NRP50T).

10.2.1 Подключить USB вход NRP50T к управляющему ПК. Запустить программное обеспечение Power Viewer NRP50T. Подготовить к работе NRP50T в соответствии с его руководством по эксплуатации. Подключить СВЧ вход NRP50T к первому порту поверяемого анализатора.

10.2.2 На поверяемом анализаторе установить частоту $F_A=10$ МГц, полосу 0 Гц, уровень выходной мощности 0 дБ (1 мВт). Установить режим измерений S_{11} . С помощью NRP50T измерить уровень выходной мощности и зафиксировать результаты измерений как $P_{NRP}(0)$ в таблице Б.6 приложения Б.

Повторить измерения на частотах F_A : 100 МГц; 1 ГГц; от 2 до 20 ГГц с шагом 2 ГГц; от

20 до 44 ГГц с шагом 4 ГГц.

Повторить измерения п. 10.2.1-10.2.2 для остальных портов поверяемого анализатора, установив на нём режимы измерений S_{22} ; S_{33} ; S_{44} соответственно. Зафиксировать результаты измерений как $P_{NRP}(0)$ в таблице Б.6 приложения Б.

10.3 Определение абсолютной погрешности измерений уровня входной мощности 0 дБ (1 мВт)

Определение абсолютной погрешности измерений уровня входной мощности 0 дБ (1 мВт) проводят методом прямых измерений с помощью ваттметра поглощаемой мощности NRP50T (далее – NRP50T) и генератора сигналов SMA100B (далее – SMA100B).

10.3.1 Подготовить к работе SMA100B и NRP50T в соответствии с их руководствами по эксплуатации. Выполнить соединение средств измерений в соответствии со схемой, приведённой на рис. 1. Делитель мощности (из таблицы 3) подключить к первому порту поверяемого анализатора.

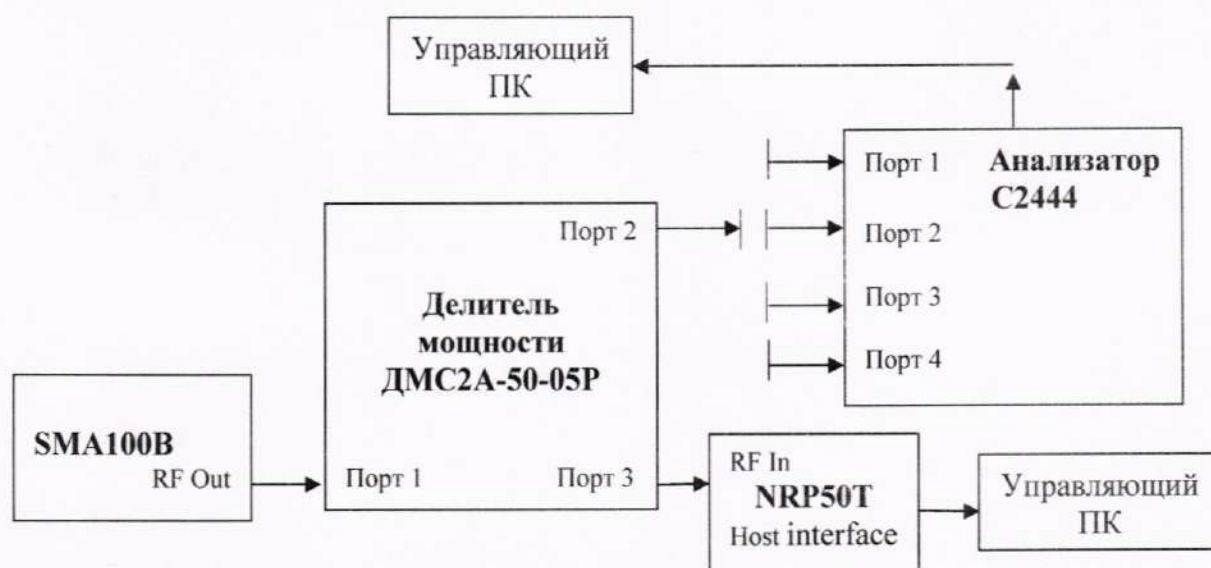


Рисунок 2 – Структурная схема соединения СИ для определения абсолютной погрешности измерений уровня мощности 0 дБ (1 мВт)

10.3.2 Установить на поверяемом анализаторе режим измерений «Отклик - Измерение – Тестовый приёмник – T1(1)», центральную частоту $F_A=10$ МГц, полосу сканирования 0 Гц, выключить стимулирующий сигнал выбрав меню «Стимул-Мощность» и перевести указатель «ВЧ выход» в положение «Откл.».

Установить на выходе SMA100B такой уровень мощности, чтобы на входе первого порта поверяемого анализатора уровень мощности составлял от минус 1 до 1 дБ (1 мВт). Зафиксировать результаты измерений уровня мощности приёмником первого порта поверяемого анализатора как $P_{изм}$ и NRP50T как P_{NRP} в таблице Б.7 приложения Б.

Повторить измерения на частотах F_A : 100 МГц; 1 ГГц; от 2 до 20 ГГц с шагом 2 ГГц; от 20 до 44 ГГц с шагом 4 ГГц.

Зафиксировать результаты измерений уровня мощности приёмником первого порта поверяемого анализатора как $P_{изм}$ и NRP50T как P_{NRP} в таблице Б.7 приложения Б.

10.3.3 Повторить измерения по п. 10.3.2, для остальных портов поверяемого анализатора, установив на анализаторе режим измерений «Отклик - Измерение – Тестовый приёмник – TX(X)», где X – номер проверяемого порта.

Зафиксировать результаты измерений уровня мощности приёмником остальных портов поверяемого анализатора как $P_{изм}$ и NRP50T как P_{NRP} в таблице Б.7 приложения Б.

10.4 Определение динамического диапазона при фильтре ПЧ 10 Гц в диапазоне частот

Определение динамического диапазона при фильтре ПЧ 10 Гц в диапазоне частот проводят методом прямых измерений при подключении к портам анализатора нагрузок короткозамкнутых из состава наборов мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z224 (далее - ZV-Z224).

10.4.1 Подключить к первому порту переход измерительный коаксиальный "Thru" с типом соединения "розетка" – "розетка" из комплекта ZV-Z224. Подключить к первому и второму портам испытуемого анализатора нагрузки короткозамкнутые из состава ZV-Z224.

10.4.2 Установить на испытуемом анализаторе параметры по умолчанию. Установить уровень выходной мощности 10 дБ (1 мВт) и фильтр ПЧ 10 Гц. Выбрать для трассы S_{21} формат отображения модуля коэффициента передачи в дБ.

10.4.3 Установить на испытуемом анализаторе диапазон частот от 10 МГц до 1 ГГц, количество точек 11. Установить маркер 1 на частоту 10 МГц и с помощью маркера определить значения измерительной трассы S_{21} (а также S_{12}) на частоте 10 МГц. Зафиксировать результаты измерений как S_{21} и S_{12} в таблице Б.8 приложения Б. Повторить измерения на частотах 500 МГц и 1 ГГц.

10.4.4 Установить на испытуемом анализаторе диапазон частот от 1 ГГц до 35 ГГц, количество точек 401. Установить маркер 1 на частоту 1,001 ГГц и с помощью маркера определить значения измерительной трассы S_{21} (а также S_{12}) на частоте 1,001 ГГц. Зафиксировать результаты измерений как S_{21} и S_{12} в таблице Б.8 приложения Б. Повторить измерения на частотах 20 и 35 ГГц.

10.4.5 Установить на испытуемом анализаторе диапазон частот от 35 ГГц до 40 ГГц, количество точек 51. Установить маркер 1 на частоту 35,001 ГГц и с помощью маркера определить значения измерительной трассы S_{21} (а также S_{12}) на частоте 35,001 ГГц. Зафиксировать результаты измерений как S_{21} и S_{12} в таблице Б.8 приложения Б. Повторить измерения на частотах 37 и 40 ГГц.

10.4.6 Установить на испытуемом анализаторе диапазон частот от 40 ГГц до 44 ГГц, количество точек 51. Установить маркер 1 на частоту 40,001 ГГц и с помощью маркера определить значения измерительной трассы S_{21} (а также S_{12}) на частоте 40,001 ГГц. Зафиксировать результаты измерений как S_{21} и S_{12} в таблице Б.8 приложения Б. Повторить измерения на частотах 42 и 44 ГГц.

10.4.7 Повторить процедуры по пунктам 10.4.1-10.4.6 для третьего и четвертого порта, установив на них режимы измерений S_{34} ; S_{43} соответственно.

10.5 Определение уровня гармонических и субгармонических составляющих относительно несущей при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт)

Определение уровня гармонических и субгармонических составляющих относительно несущей при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт) проводят методом прямых измерений с помощью анализатора фазового шума FSWP50 (далее – FSWP50).

Выполнить соединение средств измерений в соответствии со схемой, приведённой на рис. 3.

10.5.1 На поверяемом анализаторе установить частоту $F_A = 10,02$ МГц, полосу 0 Гц, уровень выходной мощности 0 дБ (1 мВт). Установить режим измерений S_{11} . Перевести поверяемый анализатор в режим синхронизации по внешней опорной частоте, для этого выбрать в меню: Система – Настройки – Ист. опоры – установить "Внешний."

10.5.2 На FSWP50 установить режим анализатора спектра, опорный уровень 0 дБ (1 мВт), центральную частоту 10 МГц, полосу пропускания 1 кГц, аттенюатор - авто. На FSWP50 включить режим автоматического измерения гармонических составляющих. Зафиксировать результаты измерений уровня гармонических составляющих как $P_{ГС}$, дБ, относительно несущей на частоте $F_{ГС} = 2 \cdot F_A$ и $3 \cdot F_A$.

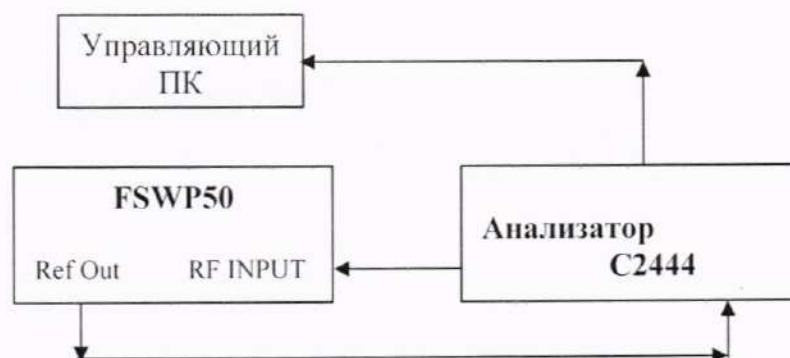


Рисунок 3 – Структурная схема соединения СИ для определения гармонических и субгармонических составляющих относительно несущей при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт)

10.5.3 Повторить измерения для следующих частот F_A : 100,02 МГц; 1,02; 9,98; 21,98 ГГц. Зафиксировать результаты измерений $P_{ГС}$, дБ, относительно несущей на частотах $F_{ГС} = 2 \cdot F_A$ и $3 \cdot F_A$, а для частоты 21,98 ГГц только $2 \cdot F_A$ в таблице Б.9 приложения Б.

10.5.4 Провести измерения субгармонических составляющих. Для этого, на поверяемом анализаторе последовательно устанавливать значения частот F_A : 10,02; 100,02 МГц; 1,02; 9,98; 21,98; 31,98; 43,98 ГГц. На FSWP50 установить режим анализатора спектра, опорный уровень 0 дБ (1 мВт), полосу пропускания 1 кГц, аттенюатор – авто, центральные частоты $F_{ГС}$ численно равные $0,25 \cdot F_A$; $0,5 \cdot F_A$; $0,75 \cdot F_A$. Зафиксировать результаты измерений уровней субгармонических составляющих как $P_{ГС}$, дБ, относительно несущей на частотах $F_{ГС}$ в таблице Б.9 приложения Б.

10.5.5 Повторить измерения п. 10.5.1-10.5.4 для остальных портов поверяемого анализатора, установив на нём режимы измерений S_{22} ; S_{33} ; S_{44} соответственно.

10.6 Определение уровня негармонических составляющих для уровня мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт) относительно несущей

Определение уровня негармонических составляющих для уровня мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт) относительно несущей проводят методом прямых измерений с помощью анализатора фазового шума FSWP50.

Выполнить соединение средств измерений в соответствии со схемой, приведённой на рис. 3.

10.6.1 На поверяемом анализаторе установить частоту $F_A = 100,19$ МГц, полосу 0 Гц, уровень выходной мощности 0 дБ (1 мВт). Установить режим измерений S_{11} .

10.6.2 На FSWP50 установить режим анализатора спектра, опорный уровень 0 дБ (1 мВт), отображаемый диапазон частот от 10 МГц до 44 ГГц, полосу пропускания (RBW) такую, чтобы собственные шумы FSWP50 были менее минус 55 дБ (1 мВт).

10.6.3 Определить уровни негармонических составляющих на отстройках более 10 МГц относительно несущей с помощью маркера FSWP50, не учитывая гармонические и субгармонические составляющие несущей.

Зафиксировать результаты измерений уровней негармонических составляющих как $P_{НГС}$, дБ, относительно несущей в таблице Б.10 приложения Б.

10.6.4 Повторить измерения для следующих значений частот F_A : 1,19; 9,99; 10,19; 19,99; 20,19; 29,19; 35,99; 43,99 ГГц. Зафиксировать результаты измерений $P_{НГС}$, дБ, относительно несущей в таблице Б.10 приложения Б.

10.6.5 Повторить измерения п. 10.6.1-10.6.4 для остальных портов поверяемого анализатора, установив на нём режим измерений S_{22} ; S_{33} ; S_{44} соответственно.

10.7 Определение спектральной плотности мощности фазовых шумов относительно несущей в полосе 1 Гц при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт)

Определение спектральной плотности мощности фазовых шумов относительно несущей в полосе 1 Гц при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт) проводят методом прямых измерений с помощью анализатора фазового шума FSWP50 на несущей частоте 10 ГГц при отстройке от несущей 10 кГц.

Выполнить соединение средств измерений в соответствии со схемой, приведённой на рис. 3, исключив синхронизацию по опорной частоте 10 МГц.

10.7.1 На поверяемом анализаторе установить частоту $F_A = 10$ ГГц, полосу 0 Гц, уровень выходной мощности 0 дБ (1 мВт). Установить режим измерений S_{11} . Выбрать меню Система – Настройки – Ист. опоры – установить “Внутренний.”

10.7.2 На FSWP50 установить режим измерений фазового шума, частоту 10 ГГц, диапазон отстроек от 1 кГц до 100 кГц и количество кросс-корреляций, необходимое для достижения требуемой чувствительности. На FSWP50 в режиме измерения фазового шума, с помощью маркера измерить спектральную плотность мощности фазовых шумов для отстройки 10 кГц относительно несущей. Зафиксировать результаты измерений спектральной плотности мощности фазовых шумов относительно несущей в полосе 1 Гц, как $P_{фш}$, дБ в таблице Б.11 приложения Б.

10.7.3 Повторить измерения п. 10.7.1-10.7.2 для остальных портов поверяемого анализатора, установив на нём режим измерений S_{22} ; S_{33} ; S_{44} соответственно.

11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

11.1 Для полученных в пункте 10.1 результатов измерений $F_{1п}$ и $F_{3п}$, рассчитать по формуле (1) относительную погрешность установки частоты выходного сигнала δF при работе от внутреннего опорного генератора:

$$\delta F = \frac{F_A - F_{1п}(F_{3п})}{F_{1п}(F_{3п})}, \quad (1)$$

где $F_{1п}$ ($F_{3п}$) – измеренное значение частоты, Гц, с помощью FSWP50 на первом и третьем портах

F_A – установленное значение частоты, Гц, на испытываемом анализаторе.

Результаты поверки по данной операции считаются удовлетворительными, если рассчитанные значения относительной погрешности установки частоты выходного сигнала δF на всех частотах не выходят за пределы: $\pm 5 \cdot 10^{-6}$.

11.2 Для полученных в пункте 10.2 результатов измерений $P_{NRP}(0)$, дБ (1 мВт), рассчитать по формуле (2) абсолютную погрешность установки уровня выходной мощности 0 дБ (1 мВт), $\Delta P_{вых}$, дБ:

$$\Delta P_{вых} = P - P_{NRP}(0), \quad (2)$$

где $P = 0$ дБ (1 мВт) – установленное на анализаторе значение уровня мощности;
 $P_{NRP}(0)$ – измеренное значение мощности, дБ (1 мВт).

Результаты поверки по данной операции считаются удовлетворительными, если рассчитанные значения абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности 0 дБ (1 мВт) не выходит за пределы $\pm 1,5$ дБ.

11.3 Для полученных в пункте 10.3 результатов измерений $P_{\text{ИЗМ}}$ и $P_{\text{НРР}}$, дБ (1 мВт), рассчитать по формуле (3) абсолютную погрешность измерений уровня входной мощности 0 дБ (1 мВт), $\Delta P_{\text{ВХ}}$, дБ:

$$\Delta P_{\text{ВХ}} = P_{\text{ИЗМ}} - P_{\text{НРР}}, \quad (3)$$

Результаты поверки по данной операции считаются удовлетворительными, если рассчитанные значения абсолютной погрешности измерений уровня входной мощности 0 дБ (1 мВт), $\Delta P_{\text{ВХ}}$, не выходит за пределы $\pm 1,5$ дБ.

11.4 Результаты поверки по пункту 10.4 считаются удовлетворительными, если измеренные значения S_{21} , S_{12} , S_{43} , S_{34} , дБ, не превышают значений, приведенных в таблице 4, в соответствующих диапазонах частот.

Таблица 4 - Динамический диапазон при фильтре ПЧ 10 Гц в диапазоне частот

Динамический диапазон при фильтре ПЧ 10 Гц в диапазоне частот, дБ, не менее	от 10 МГц до 1 ГГц включ.	-88
	св. 1 ГГц до 8 ГГц включ.	-120
	св. 8 ГГц до 40 ГГц включ.	-120
	св. 40 ГГц до 44 ГГц	-115

11.5 Результаты поверки по пункту 10.5 считаются удовлетворительными, если измеренные значения уровня гармонических составляющих $P_{\text{ГС}}$, дБ, относительно несущей и уровня субгармонических составляющих $P_{\text{СГС}}$, дБ, относительно несущей не превышают значения минус 20 дБ для всех указанных частот.

11.6 Результаты поверки по пункту 10.6 считаются удовлетворительными, если измеренные значения уровня негармонических составляющих $P_{\text{НГС}}$, дБ, относительно несущей не превышают значения минус 45 дБ для всех указанных частот.

11.7 Результаты поверки по пункту 10.7 считаются удовлетворительными, если измеренные значения спектральной плотности мощности фазовых шумов относительно несущей в полосе 1 Гц при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт) на несущей частоте 10 ГГц при отстройке от несущей 10 кГц $P_{\text{ФШ}}$, дБ, не превышают значения минус 100 дБ.

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; 9; 10 и соответствие действительных значений метрологических характеристик анализаторов цепей векторных С2444 серийные номера №№ 25101033, 24151013 требованиям, указанным в пунктах 11.1 - 11.7 данной методики поверки.

11.9 При получении отрицательных результатов по любой из процедур, перечисленных в разделах 8; 9; 10 или несоответствии действительных значений метрологических характеристик анализаторов цепей векторных С2444 серийные номера №№ 25101033, 24151013 требованиям, указанным в пунктах 11.1 - 11.7 принимается решение о несоответствии средства измерений метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа.

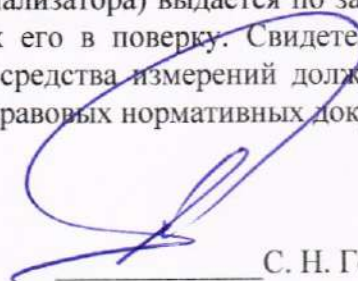
12 Оформление результатов поверки

12.1 Результаты проверки внешнего осмотра, опробования, программного обеспечения, условий поверки и окончательные результаты измерений (расчетов), полученные в процессе поверки, заносят в протокол поверки. Рекомендуемая форма протокола поверки приведена в приложении Б.

12.2 Сведения о результатах 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. Если свидетельство о поверке не оформляется, то знак поверки наносится на корпус анализатора.

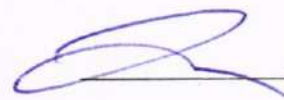
12.3 Свидетельство о поверке или извещение о непригодности к применению средства измерений (а также нанесение знака поверки на корпус анализатора) выдаётся по заявлению владельцев средства измерений или лиц, представивших его в поверку. Свидетельство о поверке или извещение о непригодности к применению средства измерений должны быть оформлены в соответствии с требованиями действующих правовых нормативных документов.

Начальник лаборатории № 441
ФБУ «НИЦ ПМ - Ростест»



С. Н. Голышак

Начальник сектора
лаборатории № 441 ФБУ «НИЦ ПМ - Ростест»



А. С. Каледин

Приложение А
(обязательное)

Таблица А.1 – Метрологические характеристики анализаторов цепей векторных С2444 серийные номера №№ 25101033, 24151013, определяемые при проведении поверки

Наименование характеристики		Значение
Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала		$\pm 5 \cdot 10^{-6}$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности 0 дБ (1 мВт), дБ		$\pm 1,5$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня входной мощности 0 дБ (1 мВт), дБ		$\pm 1,5$
Динамический диапазон при фильтре ПЧ 10 Гц в диапазоне частот, дБ, не менее	от 10 МГц до 1 ГГц включ.	-88
	св. 1 до 8 ГГц включ.	-120
	св. 8 до 40 ГГц включ.	-120
	св. 40 до 44 ГГц	-115
Уровень гармонических и субгармонических составляющих относительно несущей при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт), не более		-20
Уровень негармонических составляющих относительно несущей при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт), дБ, не более		-45
Спектральная плотность мощности фазовых шумов относительно несущей в полосе 1 Гц при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт) для частоты несущей 10 ГГц и отстройке от несущей 10 кГц, дБ, не более		-100

Приложение Б
(рекомендуемое)

Форма протокола поверки анализаторов цепей векторных С2444
серийные номера №№ 25101033, 24151013

Таблица Б.1 – Условия проведения поверки:

Наименование контролируемого параметра	Значение контролируемого параметра
Температура окружающей среды, °С	
Относительная влажность воздуха, %	

Таблица Б.2 – Внешний осмотр

Вид проверки	Заключение
Внешний вид анализатора соответствует фотографиям, приведённым в описании типа на данное средство измерений	
Комплектность анализатора соответствует указанной в технической документации фирмы-изготовителя	
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 имеет следов механических повреждений, которые могут влиять на работу анализатора и его органов управления	
Отсутствуют шумы внутри корпуса, обусловленные наличием незакрепленных деталей	
Кабель USB не имеет повреждений	
Отсутствуют механические повреждения соединителей (вмятины, забоины, отслаивания покрытия и т. д.) и заусенцы на контактных и токонесущих поверхностях анализатора	
Отсутствуют посторонние частицы внутри соединителей анализатора	

Таблица Б.3 – Опробование

Вид проверки	Заклучение
После подключения анализатора к персональному компьютеру и загрузки управляющего программного обеспечения анализатора не возникают сообщения об ошибках	
Анализатор подключается к программному обеспечению по индикатору, расположенному в строке состояния	
На всех портах анализатора обеспечивается индикация мощности опорного приемника для номинальных уровней 0 и минус 10 дБ (1 мВт)	

Таблица Б.4 – Идентификация программного обеспечения

Вид проверки	Заклучение
Номер версии программного обеспечения должен быть не ниже 25.3.3	

Таблица Б.5 – Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала

F_A^*	Нижний предел допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	Измеренные значения частот с помощью FSWP50		Верхний предел допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	Вывод о соответствии
		$F_{1п}$ (1 порт)	$F_{3п}$ (3 порт)		
10 МГц	9,99995 МГц			10,00005 МГц	
1 ГГц	0,999995 ГГц			1,000005 ГГц	
20 ГГц	19,9999 ГГц			20,0001 ГГц	
44 ГГц	43,99978 ГГц			44,00022 ГГц	

*Примечание:

F_A – здесь и далее в таблицах, значения частот установленных на поверяемом анализаторе

Таблица Б.6 – Определение абсолютной погрешности установки уровня выходной мощности 0 дБ (1 мВт), ($\Delta P_{\text{вых}}$)

F_A	Измеренные значения $P_{NRP}(0)$, дБ		Рассчитанные значения $\Delta P_{\text{вых}}$, дБ		Пределы допустимых значений $\Delta P_{\text{вых}}$, дБ	Вывод о соответствии
	1 порт	2 порт	1 порт	2 порт		
10 МГц					$\pm 1,5$	
100 МГц						
1 ГГц						
2 ГГц						
4 ГГц						
6 ГГц						
8 ГГц						
10 ГГц						
12 ГГц						
14 ГГц						
16 ГГц						
18 ГГц						
20 ГГц						
24 ГГц						
28 ГГц						
32 ГГц						
36 ГГц						
40 ГГц						
44 ГГц						

Продолжение таблицы Б.6

F_A	Измеренные значения $P_{NRP}(0)$, дБ		Рассчитанные значения $\Delta P_{ВЫХ}$, дБ		Пределы допустимых значений $\Delta P_{ВЫХ}$, дБ	Вывод о соответствии
	3 порт	4 порт	3 порт	4 порт		
10 МГц					$\pm 1,5$	
100 МГц						
1 ГГц						
2 ГГц						
4 ГГц						
6 ГГц						
8 ГГц						
10 ГГц						
12 ГГц						
14 ГГц						
16 ГГц						
18 ГГц						
20 ГГц						
24 ГГц						
28 ГГц						
32 ГГц						
36 ГГц						
40 ГГц						
44 ГГц						

Таблица Б.7 – Определение абсолютной погрешности измерения уровня входной мощности 0 дБ (1 мВт), ($\Delta P_{ВХ}$)

F_A	Измеренные значения $P_{ИЗМ}$, дБ		Измеренные значения P_{NRP} , дБ		Рассчитанные значения $\Delta P_{ВХ}$, дБ		Вывод о соответствии
	1 порт	2 порт	1 порт	2 порт	1 порт	2 порт	
10 МГц							
100 МГц							
1 ГГц							
2 ГГц							
4 ГГц							
6 ГГц							
8 ГГц							
10 ГГц							
12 ГГц							
14 ГГц							
16 ГГц							
18 ГГц							
20 ГГц							
24 ГГц							
28 ГГц							
32 ГГц							
36 ГГц							
40 ГГц							
44 ГГц							
Пределы допустимых значений $\Delta P_{ВХ}$, дБ							$\pm 1,5$

Продолжение таблицы Б.7

F_A	Измеренные значения $P_{изм}$, дБ		Измеренные значения P_{NRP} , дБ		Рассчитанные значения $\Delta P_{ВХ}$, дБ		Вывод о соответствии
	3 порт	4 порт	3 порт	4 порт	3 порт	4 порт	
10 МГц							
100 МГц							
1 ГГц							
2 ГГц							
4 ГГц							
6 ГГц							
8 ГГц							
10 ГГц							
12 ГГц							
14 ГГц							
16 ГГц							
18 ГГц							
20 ГГц							
24 ГГц							
28 ГГц							
32 ГГц							
36 ГГц							
40 ГГц							
44 ГГц							
Пределы допустимых значений $\Delta P_{ВХ}$, дБ							$\pm 1,5$

Таблица Б.8 – Определение динамического диапазона при фильтре ПЧ 10 Гц в диапазоне частот

F_A	Измеренные значения динамического диапазона, дБ				Допустимые значения динамического диапазона, дБ, не менее	Вывод о соответствии
	S_{21}	S_{12}	S_{43}	S_{34}		
10 МГц					-88	
100 МГц						
500 МГц						
1 ГГц						
1,001 ГГц					-120	
4 ГГц						
8 ГГц						
8,001 ГГц						
20 ГГц						
35 ГГц						
35,001 ГГц						
37 ГГц						
40 ГГц						
40,001 ГГц					-115	
42 ГГц						
44 ГГц						

Таблица Б.9 – Определение уровня гармонических ($P_{Гс}$) и субгармонических ($P_{Сгс}$) составляющих относительно несущей при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1мВт)

F _A	F _{Гс}	Измеренные значения P _{Гс} , дБ,				Допустимые значения P _{Гс} , дБ, не более	Вывод о соответствии
		порт 1	порт 2	порт 3	порт 4		
10,02 МГц	20,04 МГц					-20	
	30,06 МГц						
100,02 МГц	200,04 МГц						
	300,06 МГц						
1,02 ГГц	2,04 ГГц						
	3,06 ГГц						
9,98 ГГц	19,96 ГГц						
	29,94 ГГц						
21,98 ГГц	43,96 ГГц						
F _A	F _{Сгс}	Измеренные значения P _{Сгс} , дБ,				Допустимые значения P _{Сгс} , дБ, не более	Вывод о соответствии
10,02 МГц	2,505 МГц					-20	
	5,010 МГц						
	7,515 МГц						
100,02 МГц	25,005 МГц						
	50,010 МГц						
	75,015 МГц						
1,02 ГГц	0,255 ГГц						
	0,510 ГГц						
	0,765 ГГц						
9,98 ГГц	2,495 ГГц						
	4,990 ГГц						
	7,485 ГГц						
21,98 ГГц	5,495 ГГц						
	10,990 ГГц						
	16,485 ГГц						
31,98 ГГц	7,995 ГГц						
	15,990 ГГц						
	23,985 ГГц						
43,98 ГГц	10,995 ГГц						
	21,990 ГГц						
	32,985 ГГц						

Таблица Б.10 – Определение уровня негармонических ($P_{нгс}$) составляющих относительно несущей при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт)

F_A	Измеренные значения $P_{гс}$, дБ,				Допустимые значения $P_{нгс}$, дБ, не более	Вывод о соответствии
	порт 1	порт 2	порт 3	порт 4		
100,19 МГц					-45	
1,19 ГГц						
9,99 ГГц						
10,19 ГГц						
19,99 ГГц						
20,19 ГГц						
29,19 ГГц						
35,99 ГГц						
43,99 ГГц						

Таблица Б.11 – Определение спектральной плотности мощности фазовых шумов ($P_{фш}$) относительно несущей в полосе 1 Гц при уровне мощности выходного синусоидального сигнала 0 дБ (1 мВт) и отстройке от несущей 10 кГц

F_A	Измеренные значения $P_{фш}$, дБ,				Допустимые значения $P_{фш}$, дБ, не более	Вывод о соответствии
	порт 1	порт 2	порт 3	порт 4		
10 ГГц					-100	