

СОГЛАСОВАНО

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



А. Н. Щипунов

2026 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Анализаторы цепей векторные С4220

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 113-25-009

пгт. Менделеево
2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

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

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки устанавливает методы и средства первичной и периодической поверки анализаторов цепей векторных С4220 зав. № 23311005, № 23311006, модули расширения частотного диапазона TFE1854 зав. № 23371011, № 23371012, № 23371013, № 23371014 наборы мер СК зав. № 3В928 (28,5×12,6), № 3В923 (23×10 мм), № 3В925 (16×8 мм) и № 3В929 (7,2×3,4 мм) изготовленные ООО «ПЛАНАР» г. Челябинск (далее – анализаторы) в волноводном тракте.

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

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

1.4 При проведении поверки обеспечивается прослеживаемость поверяемых анализаторов к ГЭТ 219-2024 «Государственный первичный эталон единиц комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц» в соответствии с государственной поверочной схемой для средств измерений комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц утвержденной Приказом Росстандарта №1796 от 05 августа 2024.

1.5 При проведении поверки необходимо руководствоваться настоящей методикой и эксплуатационной документацией на анализаторы и на используемое при поверке оборудование. Методика поверки реализуется посредством методов прямых измерений.

1.6 В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведённые в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон рабочих частот в волноводах, ГГц: – 72×34 – 48×24 – 35×15 – 28,5×12,6 – 23×10 – 16×8 – 11×5,5 – 7,2×3,4	от 2,59 до 3,94 от 3,94 до 5,64 от 5,64 до 8,15 от 6,85 до 9,93 от 8,15 до 12,05 от 12,05 до 17,44 от 17,44 до 25,95 от 25,95 до 37,50
Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	$\pm 2 \cdot 10^{-6}$
Диапазон установки уровня выходной мощности, дБ (1 мВт): от 2,59 до 18,00 ГГц включ. св. 18,00 до 37,50 ГГц	от –60 до 10 от –20 до 3
Пределы допускаемой относительной погрешности установки уровня мощности на выходе измерительного порта, дБ: от 2,59 до 18,00 ГГц включ. св. 18,00 до 37,50 ГГц	$\pm 1,5$ $\pm 2,0$

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение
Уровень собственного шума приёмников, дБ (1 мВт)/Гц, не более: от 2,59 до 18,00 ГГц включ. св 18,00 до 36,00 ГГц включ. св. 36,00 до 37,50 ГГц	 -133 -130 -120
Диапазон измерений модуля коэффициента отражения $ S_{ii} $, отн.ед.	от 0 до 1
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения $\Delta S_{ii} $, отн. ед.: от 2,59 до 18,00 ГГц включ. св. 18,00 до 37,50 ГГц	 $\pm[0,008 + 0,017 \cdot S_{ii} + 0,013 \cdot S_{ii} ^2]$ $\pm[0,013 + 0,017 \cdot S_{ii} + 0,025 \cdot S_{ii} ^2]$
Диапазон измерений фазы коэффициента отражения, градус	от -180 до +180
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения, градус	$\pm[1,0 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{ii} / S_{ii})]$
Диапазон измерений модуля коэффициента передачи $ S_{ji} $, дБ: от 2,59 до 18,00 ГГц включ. св 18,00 до 36,00 ГГц включ. св. 36,00 до 37,50 ГГц	 от -70 до 0 от -60 до 0 от -50 до 0
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи T , дБ	$\pm 0,10$
Нелинейность приемников L , дБ	$\pm 0,15$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи $\Delta S_{ji} $, дБ: от 0 до -10 дБ включ. менее -10 дБ до нижней границы	 $\pm T$ $\pm(T+L)$
Диапазон измерений фазы коэффициента передачи, градус	от -180 до 180
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи, градус: от 2,59 до 18,00 ГГц включ. св. 18,00 до 37,50 ГГц	 $\pm[0,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{ji} /8,6)]$ $\pm[1,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{ji} /8,6)]$
Примечания: 1) Пределы погрешности измерений коэффициента передачи и отражения нормированы при изменении температуры не более чем $\pm 1^\circ\text{C}$ после калибровки. 2) Пределы погрешности измерений модуля коэффициента отражения нормированы для двухполосников или четырехполосников с бесконечным ослаблением. 3) В диапазоне частот от 2,59 до 18,00 ГГц пределы погрешности измерений фазы коэффициента отражения нормированы в диапазоне значений модуля коэффициента отражения от 0,018 до 1,000. 4) В диапазоне частот от 18,00 до 37,50 ГГц пределы погрешности измерений фазы коэффициента отражения нормированы в диапазоне значений модуля коэффициента отражения от 0,032 до 1,000.	

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение
5) В диапазоне частот от 2,59 до 18,00 ГГц пределы погрешности измерений коэффициента передачи нормированы при выходной мощности 0 дБ (1 мВт) и полосе фильтра промежуточной частоты 10 Гц.	
7) В диапазоне частот от 18,00 до 37,50 ГГц пределы погрешности измерений коэффициента передачи нормированы при выходной мощности минус 10 дБ (1 мВт) и полосе фильтра промежуточной частоты 10 Гц.	

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

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

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	да	да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	8
Проверка программного обеспечения средств измерений	да	да	9
Проверка диапазона рабочих частот и определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	да	да	10.1
Проверка нелинейности L приемников	да	да	10.2
Проверка диапазона установки уровня выходной мощности и определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности	да	да	10.3
Определение абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи Т	да	да	10.4
Проверка диапазона измерений модуля коэффициента передачи и определение абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи	да	да	10.5
Проверка диапазона измерений фазы коэффициента передачи и определение абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи	да	да	10.6
Проверка диапазона измерений модуля и фазы коэффициента отражения и определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения	да	да	10.7

Продолжение таблицы 2

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Проверка уровня собственного шума приёмников	да	да	10.8

2.2 При получении отрицательных результатов по любому пункту таблицы 2 поверяемый анализатор бракуется и направляется в ремонт.

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

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

–температура окружающего воздуха, °С	от плюс 15 до плюс 30
–относительная влажность окружающего воздуха, %, не более	80
–атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	от 84,0 до 106,7 (от 630 до 800)

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 Поверка должна осуществляться лицами со средним или высшим техническим образованием, аттестованными в качестве поверителей в области радиотехнических измерений в установленном порядке и имеющим квалификационную группу электробезопасности не ниже второй.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документами РЭ 6687-125-21477812-2015 «Анализаторов цепей векторные. Руководство по эксплуатации. Технические характеристики» (далее – РЭ).

4.3 Поверка осуществляется одним специалистом.

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 Рекомендуемые средства поверки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень средств поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне от 15 °С до 30 °С с абсолютной погрешностью не более 1 °С. Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 20% до 90 % с погрешностью не более 3 %. Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 80 до 107 кПа с абсолютной погрешностью не более 0,5 кПа.	Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7, рег. № 71394-18.
п.10.1 Проверка диапазона рабочих частот и определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	Средства измерений частоты радиотехнических сигналов в диапазоне от 2,59 до 37,5 ГГц с относительной погрешностью не более $\pm 5 \cdot 10^{-7}$.	Частотомеры универсальные CNT-90XL, рег. № 70888-18: - опция 40G, до 40 ГГц.
п. 10.2 Определение нелинейности L приемников	Средства измерений отношения мощностей СВЧ колебаний от 0,1 до 1,0 мВт с диапазоном рабочих частот от 2,59 до 37,5 ГГц, с относительной погрешностью не более $\pm 0,3$ %. Генератор сигналов с уровнем выходной мощности от -60 до 16 дБ (1 мВт). Аттенюатор с диапазоном рабочих частот от 2,59 до 37,5 ГГц, с диапазоном ослабления от 0 до 65 дБ	Ваттметры поглощаемой мощности СВЧ NRP67T, рег. № 69958-17. Генератор сигналов E8257D, рег. № 74333-19. Аттенюатор ступенчатый 84908M, рег. № 60239-15.
п. 10.3 Проверка диапазона установки уровня выходной мощности и определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности	Средства измерений мощности СВЧ колебаний от 0,1 до 1,0 мВт с диапазоном рабочих частот 2,59 до 37,5 ГГц, с относительной погрешностью не более ± 10 %.	Ваттметры поглощаемой мощности СВЧ NRP40T, рег. № 69958-17.
п. 10.4 Определение абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи T	Отрезки прямоугольного волновода с сечением прямоугольного волновода 72×34, 48×24, 35×15, 28,5×12,6, 23×10, 16×8, 11×5,5, 7,2×3,4 мм.	Комплекты калибровочных мер ККМВ, рег. №97407-26

Продолжение таблицы 3

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 10.5 Проверка диапазона измерений модуля коэффициента передачи и определение абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи	Средства измерений для передачи единицы комплексного коэффициента передачи в прямоугольных волноводах: погрешность определения действительных значений модуля и фазы коэффициента передачи не более 0,1 дБ и 1,5 градуса.	Аттенюатор ступенчатый программируемый 84908М, рег. №60239-15.
п. 10.6 Проверка диапазона измерений фазы коэффициента передачи и определение абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи		
п. 10.7 Проверка диапазона измерений модуля и фазы коэффициента отражения и определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения	Средство измерений для хранения и передачи единицы комплексного коэффициента отражения соответствующее рабочему эталону по государственной поверочной схеме для средств измерений комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц утвержденной приказом Росстандарта №1796 от 05 августа 2024.	Комплекты нагрузок волноводных КНВ, рег. №97886-26
п. 10.8 Проверка уровня собственного шума приёмников	Средства измерений для хранения и передачи единицы комплексного коэффициента отражения в прямоугольных волноводах: нагрузки согласованные с номинальными значениями КСВН (K_{cmU}) 1,05, с погрешностью определения действительных значений КСВН не более $2,0 \cdot K_{cmU} \%$.	Комплекты нагрузок волноводных КНВ, рег. №97886-26

5.2 Средства измерений, указанные в перечне рекомендуемых таблицы 3, должны быть утвержденного типа, исправны, поверены и иметь действующие свидетельства о поверке.

5.3 Допускается использовать аналогичные средства поверки, обеспечивающие определение метрологических характеристик поверяемых анализаторов с требуемой точностью.

6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

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

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

6.3 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.

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Сверить комплектность и внешний вид поверяемого анализатора с данными, приведёнными в описании типа на него.

7.2 Провести визуальный контроль чистоты соединителей анализатора. В случае обнаружения посторонних частиц провести чистку соединителей (см. приложение Б). Проверке подлежат коаксиальные соединители измерительных портов.

7.3 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.

7.4 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;
- кабели не имеют повреждений.

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Подготовка поверяемого средства измерений

8.1.1 Убедиться в выполнении условий проведения поверки.

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

8.1.3 Для установления рабочего режима выдержать анализатор во включенном состоянии не менее 40 минут.

8.1.4 Установить программное обеспечение S2VNA для управления анализатором согласно руководству по эксплуатации. Подключить проверяемый анализатор к персональному компьютеру с помощью кабеля USB. Запустить управляющее программное обеспечение.

Проверить, что анализатор подключился к программному обеспечению по индикатору, расположенному в строке состояния. Проверить тип и серийный номер, отображаемые в верхней части программного обеспечения.

ВНИМАНИЕ! Для выполнения измерений в диапазоне от 18,00 до 37,50 ГГц необходимо использовать модули расширения частотного диапазона (далее – модули), входящие в комплект поставки.

8.1.5 Подключение модулей к анализатору осуществляется в соответствии с руководством по эксплуатации на анализатор.

В программном обеспечении анализатора по умолчанию отключен режим измерений совместно с модулями. Для начала работы необходимо выбрать тип модулей в программном обеспечении. После чего программное обеспечение автоматически перезагрузится и анализатор будет готов к работе с модулями.

При двухпортовых измерениях с использованием модулей допускается не использовать кабель СВЧ, а подключение выполнять, непосредственно перемещая модули.

Подготовить к работе набор калибровочных мер СК в соответствии с руководством по эксплуатации на него. Выбрать тип двухпортовой калибровки TRL и выполнить операции в соответствии с руководством по эксплуатации анализатора.

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

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ВРАЩАТЬ КОРПУС ПОДКЛЮЧАЕМОГО УСТРОЙСТВА.

Уровень выходной мощности при калибровке должен составлять:

- 0 дБ (1 мВт) для анализатора без модулей;
- минус 10 дБ (1 мВт) для анализатора с модулями.

8.1.6 Результаты опробования считать положительными, если при загрузке управляющего программного обеспечения анализатора не возникают сообщения об ошибках; анализатор подключается к программному обеспечению по индикатору, расположенному в строке состояния; тип и серийный номер прибора соответствуют подключенному.

9 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Описание программного обеспечения анализатора приведено в руководстве по эксплуатации на него.

9.1 Для проведения проверки следует:

- запустить программное обеспечение, указанное в таблице 4.
- проверить, что анализатор подключился к программному обеспечению по индикатору, расположенному в строке состояния;
- проверить номер версии программного обеспечения.

9.2 Номер версии программного обеспечения должен быть не ниже приведенного в таблице 4.

Таблица 4 – Программное обеспечение

Модификация	Программное обеспечение	Номер версии (идентификационный номер) ПО
C4220	S2VNA	не ниже 21.0.0

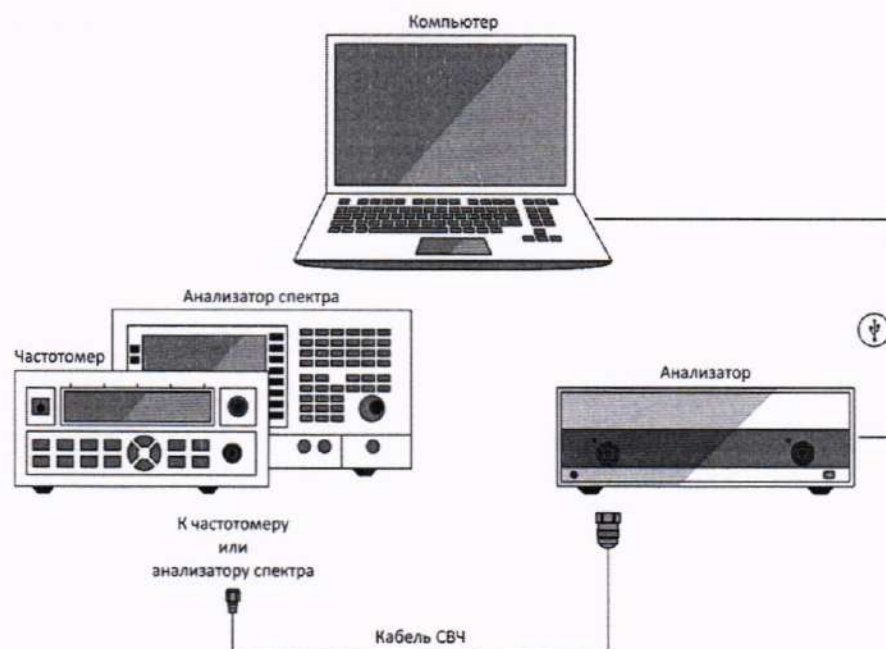
10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

10.1 Проверка диапазона рабочих частот и определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала

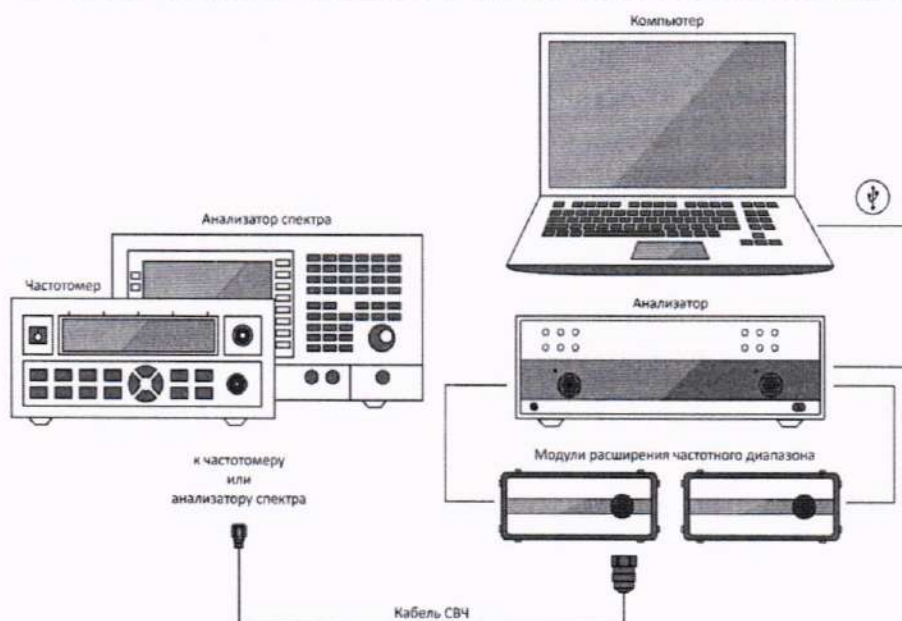
10.1.1 Проверку диапазона рабочих частот проводить с помощью частотомера универсального (далее – частотомер). Допускается применение анализатора спектра, обеспечивающего измерение частоты выходного сигнала поверяемого анализатора с требуемой точностью.

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

10.1.3 Собрать схему измерений, приведенную на рисунке 1.



а) Схема измерений частоты при работе анализатора без модулей



б) Схема измерений частоты при работе анализатора с модулями

Рисунок 1 – Схема измерений частоты

10.1.4 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».

10.1.5 Провести измерение частоты выходного сигнала на частотах 2590, 3940, 5640, 6850, 8150, 10100, 12050, 14725, 17440, 20000, 25950, 37500 МГц. Зафиксировать результаты в протоколе измерений.

10.1.6 Расчёт относительной погрешности установки частоты выходного сигнала δf выполнить по формуле:

$$\delta f = \frac{f_{уст} - f_{изм}}{f_{изм}},$$

где $f_{изм}$ измеренное значение частоты, Гц;
 $f_{уст}$ установленное значение частоты, Гц.

10.1.7 Результаты поверки считать положительными, если в диапазоне рабочих частот от 2,59 до 37,50 ГГц относительная погрешность установки частоты выходного сигнала находится в пределах $\pm 2 \cdot 10^{-6}$.

10.2 Проверка нелинейности L приемников

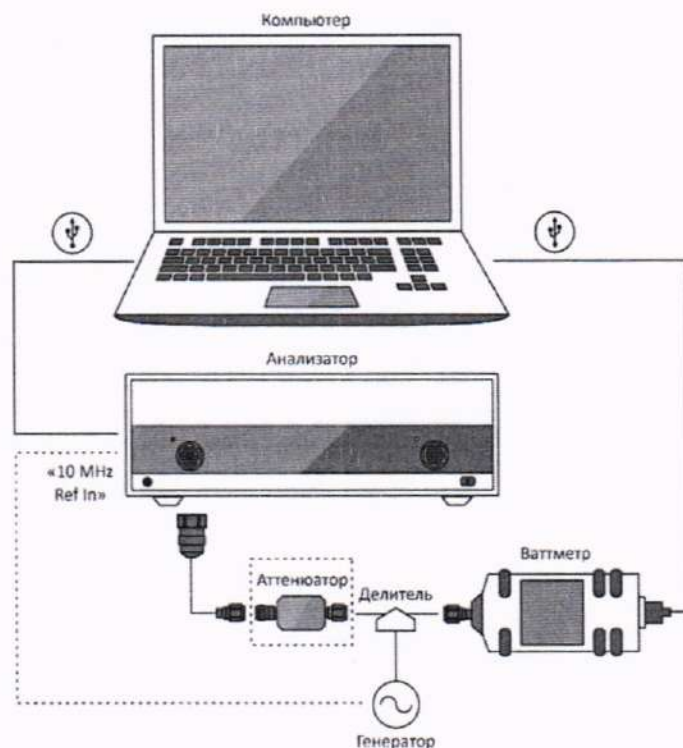
10.2.1 Проверка нелинейности L приемников при работе анализатора без модулей выполняется прямыми измерениями в диапазоне мощностей от минус 20 до 0 дБ (1 мВт) и от 0 до 10 дБ (1 мВт), и косвенными измерениями в диапазоне мощностей от минус 60 до 0 дБ (1 мВт) с применением ваттметра поглощаемой мощности СВЧ в режиме измерений отношения мощностей одинаковой частоты при уровнях минус 60, минус 40, минус 20, 0 и 10 дБ (1 мВт) на частотах:

- при первичной поверке 2,59, 3,94, 5,64, 6,85, 8,15, 12,05, 17,44 ГГц;
- при периодической поверке 2,59 и 17,44 ГГц.

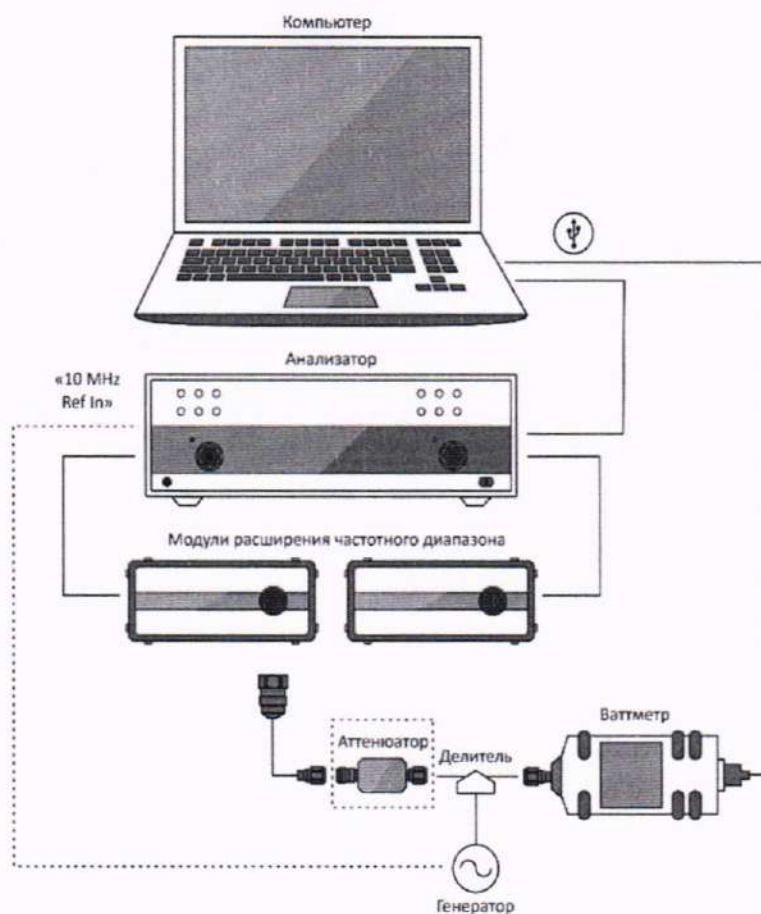
Проверка нелинейности L приемников при совместной работе анализатора с модулями выполняется прямыми измерениями в диапазоне мощностей от минус 20 до 0 дБ (1 мВт) и косвенными измерениями в диапазоне мощностей от минус 60 до 0 дБ (1 мВт) с применением ваттметра поглощаемой мощности СВЧ в режиме измерений отношения мощностей одинаковой частоты при уровнях минус 60, минус 40, минус 20 и 0 на частотах:

- при первичной поверке 20,00, 25,95 и 37,5 ГГц;
- при периодической поверке 20,00 и 37,5 ГГц.

10.2.2 Собрать схему измерений, приведённую на рисунке 2. Включить синхронизацию частоты анализатора от внешнего источника опорной частоты генератора сигналов.



а) Схема измерений нелинейности при работе анализатора без модулей



б) Схема измерений нелинейности при работе анализатора с модулями

Рисунок 2 – Схема измерений нелинейности измерительных приемников

10.2.3 Установить на анализаторе параметры по умолчанию. Выбрать для первого порта режим измерений мощности: приемник А, порт стимула 2. Отключить стимулирующий сигнал. Перевести анализатор в режим работы на фиксированной частоте, установив одинаковое значение для начальной и конечной частоты. Установить количество точек по частоте 5, полосу фильтра промежуточной частоты 10 Гц (1 Гц при работе с модулями).

10.2.4 Установить на выходе генератора сигналов уровень мощности такой, чтобы показания ваттметра были в интервале значений $\pm 0,5$ дБ (1 мВт). Установить измеренный уровень мощности приёмником за опорное значение, добавив график в память и проводя нормировку (Данные / Память).

10.2.5 Установить измеренный уровень мощности ваттметром за опорное значение и выбрать режим измерений отношения мощностей, формат отображения дБ.

10.2.6 Уменьшить уровень мощности генератора сигналов на 20 дБ. Зафиксировать результаты измерений приёмником Δ_{-20} и ваттметром Δ_{NRP-20} и рассчитать нелинейность приемника в диапазоне от минус 20 до 0 дБ (1 мВт) по формуле:

$$\delta_{-20} = \Delta_{-20} - \Delta_{NRP-20}.$$

10.2.7 Увеличить уровень мощности генератора сигналов на 30 дБ. Зафиксировать результаты измерений приёмником Δ_{10} и ваттметром Δ_{NRP10} и рассчитать нелинейность приемника в диапазоне от 0 до 10 дБ (1 мВт) по формуле:

$$\delta_{10} = \Delta_{10} - \Delta_{NRP10}.$$

Данный пункт не выполняется при работе анализатора с модулями.

10.2.8 Повторить измерения для остальных частот.

10.2.9 Установить между выходом делителя и портом анализатора вспомогательный аттенюатор 30 дБ (20 дБ при работе с модулями).

10.2.10 Установить на выходе генератора сигналов уровень мощности такой, чтобы показания ваттметра были в интервале значений $(10 \pm 0,5)$ дБ (1 мВт) $(0 \pm 0,5)$ дБ (1 мВт) при работе с модулями). Установить измеренный уровень мощности приёмником за опорное значение.

10.2.11 Установить измеренный уровень мощности ваттметром за опорное значение и выбрать режим измерений отношения мощностей.

10.2.12 Уменьшить уровень мощности генератора сигналов на 20 дБ. Зафиксировать результаты измерений приёмником Δ_{-40} и ваттметром Δ_{NRP-40} и рассчитать нелинейность приемника в диапазоне от минус 40 до 0 дБ (1 мВт) по формуле:

$$\delta_{-40} = \delta_{-20} + \Delta_{-40} - \Delta_{NRP-40}.$$

10.2.13 Повторить измерения для остальных частот.

10.2.14 Установить между выходом делителя и портом анализатора вспомогательный аттенюатор 50 дБ (40 дБ при работе с модулями).

10.2.15 Установить на выходе генератора сигналов уровень мощности такой, чтобы показания ваттметра были в интервале значений $(10 \pm 0,5)$ дБ (1 мВт) $(0 \pm 0,5)$ дБ (1 мВт) при работе с модулями). Установить измеренный уровень мощности приёмником за опорное значение.

10.2.16 Установить измеренный уровень мощности ваттметром за опорное значение и выбрать режим измерений отношения мощностей.

10.2.17 Уменьшить уровень мощности генератора сигналов на 20 дБ. Зафиксировать результаты измерений приёмником Δ_{-60} и ваттметром Δ_{NRP-60} и рассчитать нелинейность приемника в диапазоне от минус 60 до 0 дБ (1 мВт) по формуле:

$$\delta_{-60} = \delta_{-40} + \Delta_{-60} - \Delta_{NRP-60}.$$

10.2.18 Повторить измерения для остальных частот.

10.2.19 Повторить измерения для второго порта, выбрав приемник В и порт стимула 1.

10.2.20 За нелинейность L приемников принять максимальное из полученных значений δ_{10} , δ_{-20} , δ_{-40} , δ_{-60} .

10.2.21 Результаты проверки считать положительными, если нелинейность приемников L находится в пределах $\pm 0,15$ дБ.

10.3 Проверка диапазона установки уровня выходной мощности и определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности

10.3.1 Определение уровня выходной мощности проводить методом прямых измерений с применением ваттметра поглощаемой мощности СВЧ NRP40SN.

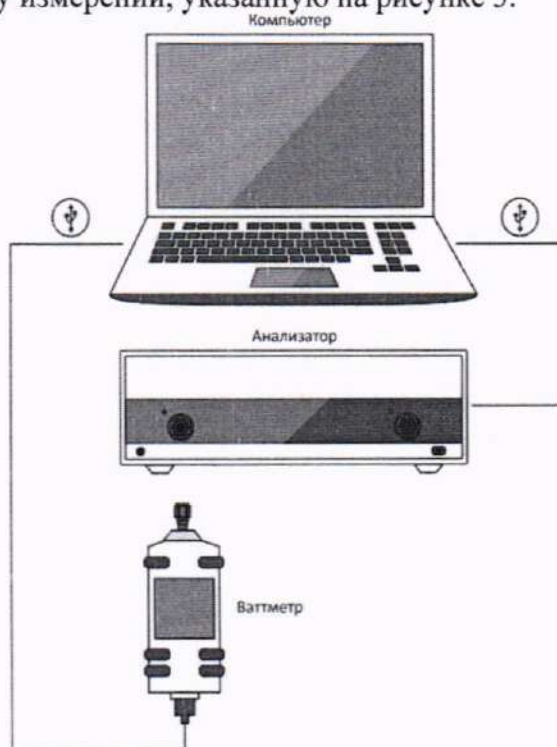
Для анализатора без модулей допускается проводить проверку уровней мощности 0 и 10 дБ (1 мВт) методом прямых измерений, а уровней мощности минус 60 и минус 30 дБ (1 мВт) – методом косвенных измерений измерительным приемником анализатора.

Для анализатора с модулями допускается проводить проверку уровней мощности минус 20, минус 10, минус 6 и 3 дБ (1 мВт) методом прямых измерений.

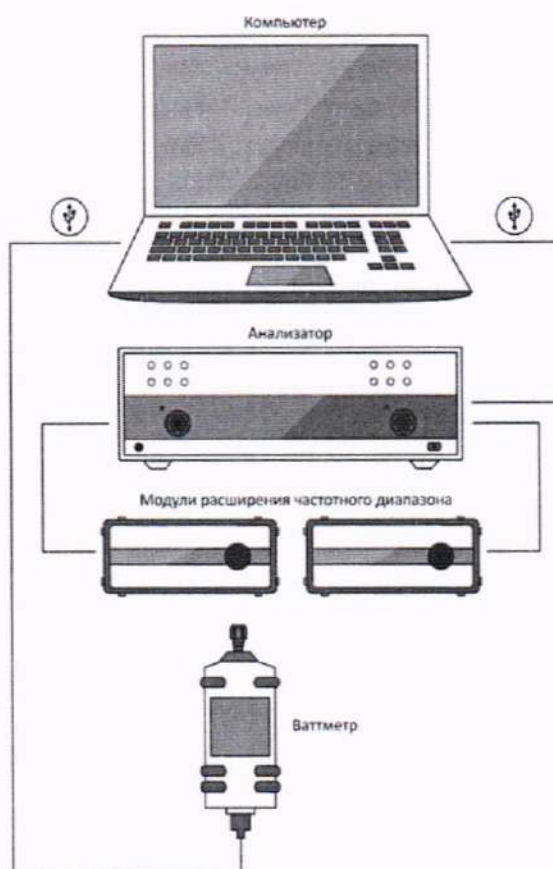
10.3.2 Уровень мощности следует контролировать на выходе каждого измерительного порта.

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

10.3.4 Собрать схему измерений, указанную на рисунке 3.



а) Схема измерений выходной мощности при работе анализатора без модулей



б) Схема измерений выходной мощности при работе анализатора с модулями

Рисунок 3 – Схема измерений выходной мощности

10.3.5 Установить на анализаторе параметры по умолчанию, требуемый уровень выходной мощности (0 или минус 6 дБ (1 мВт) в зависимости от наличия подключенных модулей), частоту выходного сигнала $F_1 \dots F_N$ из ряда 2590, 3940, 5640, 6850, 8150, 10100, 12050, 14725, 17440, 20000, 25950, 32000, 37500 МГц, полосу сканирования 0 Гц, триггер запуска сканирования в положение «Однократно». Для каждого измерения необходимо переводить триггер запуска в состояние «Однократно» из положения «Стоп».

10.3.6 Последовательно измерить уровень выходной мощности с помощью ваттметра на частотах $F_1 \dots F_N$. Рассчитать относительную погрешность установки уровня выходной мощности δP_0 по формуле:

$$\delta P_0 [\text{дБ}] = P - P_{NRP} + |S_{21}|,$$

где P – измеренный уровень выходной мощности, дБ (1 мВт);

P_{NRP} – уровень выходной мощности измеренный ваттметром, дБ (1 мВт).

$|S_{21}|$ – модуль коэффициента передачи используемого перехода, дБ.

10.3.7 Повторить измерения для уровней выходной мощности 10 или минус 20, минус 10 и 3 дБ (1 мВт) в зависимости от наличия подключенных модулей.

10.3.8 Определение относительной погрешности установки уровня выходной мощности методом косвенных измерений выполнить с помощью опорных приёмников анализатора, работающих в режиме абсолютных измерений мощности уровня выходной мощности минус 60 и минус 30 дБ (1 мВт), после нормализации данных (деления данных на память) относительно уровня 0. Расчёт относительной погрешности установки уровня выходной мощности выполнить по формуле:

$$\delta P [\text{дБ}] = P - P_{REF} + \delta P_0,$$

где P – измеренный уровень выходной мощности, дБ (1 мВт);

P_{REF} – установленный уровень выходной мощности, дБ (1 мВт);

δP_0 – значение относительной погрешности установки уровня выходной мощности для уровня мощности 0 дБ (1 мВт) определенное методом прямых измерений в соответствии с п.п. 10.3.3 – 10.3.7, дБ (1 мВт).

10.3.9 Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности установки уровня выходной мощности находится в пределах:

- $\pm 1,5$ дБ в диапазоне установки уровня выходной мощности от -60 до 10 дБ (1 мВт) в диапазоне частот от 2,59 до 18,00 ГГц включ.;
- $\pm 2,0$ дБ в диапазоне установки уровня выходной мощности от -20 до 3 дБ (1 мВт) в диапазоне частот св. 18,00 до 37,50 ГГц.

10.4 Определение абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи Т

10.4.1 Определение абсолютной погрешности измерений из-за трекинга передачи Т проводить методом прямых измерений с помощью меры в виде отрезка прямоугольного волновода.

10.4.2 Измерения проводить для каждого сечения прямоугольного волновода в диапазоне частот соответствующем таблице 5 с шагом 100 МГц, включая граничные частоты.

Таблица 5 – Диапазон частот для сечений прямоугольного волновода

Сечения прямоугольного волновода, мм	Диапазон рабочих частот, ГГц
72×34	от 2,59 до 3,94
48×24	от 3,94 до 5,64
35×15	от 5,64 до 8,15
28,5×12,6	от 6,85 до 9,93
23×10	от 8,15 до 12,05
16×8	от 12,05 до 17,44
11×5,5	от 17,44 до 25,95
7,2×3,4	от 25,95 до 37,50

10.4.3 При измерении коэффициента передачи рекомендуется подключать один КВП напрямую к измерительному порту, другой – к кабелю СВЧ. Измерения следует проводить с минимально-возможным движением кабелей.

10.4.4 Определение абсолютной погрешности измерений из-за трекинга передачи Т выполнить в следующей последовательности.

10.4.5 Подключить меру коэффициента передачи в виде отрезка волновода соответствующего сечения между измерительными портами анализатора. Провести измерения модуля коэффициента передачи $|S_{21}|$ в логарифмическом масштабе (дБ) при двух направлениях зондирования.

10.4.6 Абсолютную погрешности измерений модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи Т рассчитать по формуле:

$$T = |S_{21}| - |S_{21}|_0,$$

где $|S_{21}|_0$ – действительное значение модуля коэффициента передачи меры.

За абсолютную погрешность измерений модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи принять максимальное из полученных значений трекинга передачи Т.

Для удобства расчеты допускается осуществить в ПО анализатора: загрузить файл (*.s2p) с действительными значениями меры в память программного обеспечения анализатора и с помощью маркеров определить максимальное отклонение между измеряемыми данными и данными трассы памяти в логарифмическом масштабе.

10.4.7 Результаты поверки считать положительными, если значения абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи Т находится в пределах $\pm 0,10$ дБ.

10.5 Проверка диапазона измерений модуля коэффициента передачи и определение абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи

10.5.1 Измерения проводить для каждого сечения прямоугольного волновода в соответствующем таблице 5 диапазоне частот с шагом 100 МГц, включая граничные частоты.

10.5.2 При измерении коэффициента передачи рекомендуется подключать один КВП напрямую к измерительному порту, другой – к кабелю СВЧ. Измерения следует проводить с минимально-возможным движением кабелей.

10.5.3 Проверка измерений модуля коэффициента передачи 0 дБ и абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи 0 дБ проводить методом прямых измерений с помощью меры в виде отрезка прямоугольного волновода в следующей последовательности.

10.5.3.1 Подключить меру коэффициента передачи в виде отрезка волновода соответствующего сечения из состава комплекта калибровочных мер эталона между

измерительными портами анализатора. Провести измерения модуля коэффициента передачи $|S_{21}|$ в логарифмическом масштабе (дБ) при двух направлениях зондирования.

10.5.3.2 Абсолютную погрешность измерений модуля коэффициента передачи рассчитать по формуле:

$$\Delta|S_{21}| = |S_{21}| - |S_{21}|_0,$$

где $|S_{21}|_0$ – действительное значение модуля коэффициента передачи меры.

За абсолютную погрешности измерений модуля коэффициента передачи принять максимальное из полученных значений.

Для удобства расчеты допускается осуществить в ПО анализатора: загрузить файл (*.s2p) с действительными значениями меры в память программного обеспечения анализатора и с помощью маркеров определить максимальное отклонение между измеряемыми данными и данными трассы памяти в логарифмическом масштабе.

10.5.4 Проверку нижней границы модуля коэффициента передачи и абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи проводить методом косвенных измерений на основании измерений погрешности из-за трекинга передачи T (п. 10.4) и нелинейности L приемников (п. 10.2).

Рассчитать абсолютную погрешность измерений модуля коэффициента передачи по формуле:

$$\Delta|S_{21}| = L + T ,$$

L – результат измерений по п. 10.2;

T – результат измерений по п. 10.4.

10.5.5 Результаты поверки считать положительными, если:

- значения абсолютной погрешности находится в пределах $\pm 0,10$ дБ при измерении модуля коэффициента передачи 0 дБ.

- значения абсолютной погрешности находится в пределах $\pm 0,25$ дБ при измерении модуля коэффициента передачи в диапазоне значений:

 - от минус 70 до минус 10 в диапазоне частот от 2,59 до 18,00 ГГц включ.;

 - от минус 60 до минус 10 в диапазоне частот св 18,00 до 36,00 ГГц включ.;

 - от минус 50 до минус 10 в диапазоне частот св. 36,00 до 37,50 ГГц.

10.6 Проверка диапазона измерений фазы коэффициента передачи и определение абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи

10.6.1 Измерения проводить для каждого сечения прямоугольного волновода в соответствующем таблице 4 диапазоне частот с шагом 100 МГц, включая граничные частоты.

10.6.2 При измерении коэффициента передачи рекомендуется подключать один КВП напрямую к измерительному порту, другой – к кабелю СВЧ. Измерения следует проводить с минимально-возможным движением кабелей.

10.6.3 Определение диапазона измерений фазы коэффициента передачи и абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи проводить:

- при первичной поверке методом прямых измерений с помощью меры в виде отрезка прямоугольного волновода и методом компарирования с помощью аттенюатора ступенчатого с подключенными КВП в далее указанной последовательности;

- при периодической поверке методом прямых измерений с помощью меры в виде отрезка прямоугольного волновода.

10.6.4 Подключить меру коэффициента передачи в виде отрезка волновода соответствующего сечения из состава комплекта калибровочных мер эталона между измерительными портами анализатора. Провести измерения фазы коэффициента передачи φ_{21} .

10.6.5 При первичной поверке подключить меру коэффициента передачи в виде аттенюатора ступенчатого с подключенными КВП соответствующего сечения между измерительными портами анализатора. Провести измерения фазы коэффициента передачи φ_{21} при номинальном значении ослабления:

70 дБ в диапазоне частот от 2,59 до 18,00 ГГц включ.;

60 дБ в диапазоне частот свыше 18,00 до 36,00 ГГц включ.;

50 дБ в диапазоне частот свыше 36,00 до 37,50 ГГц включ.

10.6.6 Абсолютную погрешности измерений фазы коэффициента передачи рассчитать по формуле:

$$\Delta\varphi_{ij} = \varphi_{21} - \varphi_{210},$$

где φ_{210} – действительное значение фазы коэффициента передачи меры.

За абсолютную погрешности измерений фазы коэффициента передачи принять максимальное из полученных значений.

10.6.7 Для удобства расчеты допускается осуществить в ПО анализатора: загрузить файл (*.s2p) с действительными значениями меры в память программного обеспечения анализатора и с помощью маркеров определить максимальное отклонение $\Delta\varphi_{ij}$ между измеряемыми данными и данными трассы памяти.

10.6.8 Результаты поверки считать положительными, если в диапазоне значений φ_{21} от минус 180 до 180 градусов значения абсолютной погрешности измерений $\Delta\varphi_{ij}$ находятся в пределах:

$\pm[0,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta|S_{ji}|/8,6)$ в диапазоне частот от 2,59 до 18,00 ГГц;

$\pm[1,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta|S_{ji}|/8,6)$ в диапазоне частот от св. 18,00 до 37,50 ГГц.

10.7 Проверка диапазона измерений модуля и фазы коэффициента отражения и определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения

10.7.1 Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения проводят методом прямых измерений с помощью комплекта нагрузок волноводных: согласованная нагрузка, рассогласованная нагрузка (КСВН 2,0), короткозамыкатель.

10.7.2 Измерения проводить для каждого сечения прямоугольного волновода в соответствующем таблице 4 диапазоне частот с шагом 100 МГц, включая граничные частоты.

10.7.3 Измерения следует проводить с минимально-возможным движением кабелей.

10.7.4 Последовательно провести измерения модуля коэффициента отражения в линейном масштабе (отн.ед.) и фазы коэффициента отражения в градусах всех перечисленных нагрузок.

10.7.5 Для упрощения процесса измерений и вычислений можно использовать маркеры, реализованные в программном обеспечении.

10.7.6 При измерении каждой нагрузки необходимо загрузить файл (*.slp) с действительными значениями в память программного обеспечения анализатора.

10.7.7 Определить с помощью маркеров максимальную погрешность измерений модуля $\Delta|S_{ii}^{\text{ИЗМ.МАКС}}|$ и $\Delta|S_{ii}^{\text{ИЗМ}}|$ на указанных частотах между измеряемыми данными и данными трассы памяти.

10.7.8 Определить с помощью маркеров максимальную погрешность измерений фазы $\Delta\varphi(S_{ii}^{\text{ИЗМ.МАКС}})$ и погрешность $\Delta\varphi(S_{ii}^{\text{ИЗМ}})$ в градусах.

10.7.9 Повторить измерения по пп. 10.7.4 – 4.11.8 для второго порта.

10.7.10 Вычислить абсолютную погрешность измерений модуля и фазы коэффициента отражения:

$$\Delta|S_{ii}^{ИЗМ}| = |S_{ii}^{ИЗМ}| - |S_{ii}^0|,$$

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

где $\Delta|S_{ii}^{ИЗМ}|$ погрешность измерений модуля коэффициента отражения, отн.ед.;
 $|S_{ii}^{ИЗМ}|$ измеренное значение модуля коэффициента отражения нагрузки, отн.ед.;
 $|S_{ii}^0|$ действительное значение модуля коэффициента отражения нагрузки, отн.ед.;
 $\Delta\varphi(S_{ii}^{ИЗМ})$ погрешность измерений фазы коэффициента отражения, градус;
 $\varphi(S_{ii}^{ИЗМ})$ измеренное значение фазы коэффициента отражения нагрузки, градус;
 $\varphi(S_{ii}^0)$ действительное значение фазы коэффициента отражения нагрузки, градус.

10.7.11 Результаты поверки считать положительными, если:

- значения абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения в диапазоне значений от 0 до 1 находятся в пределах:

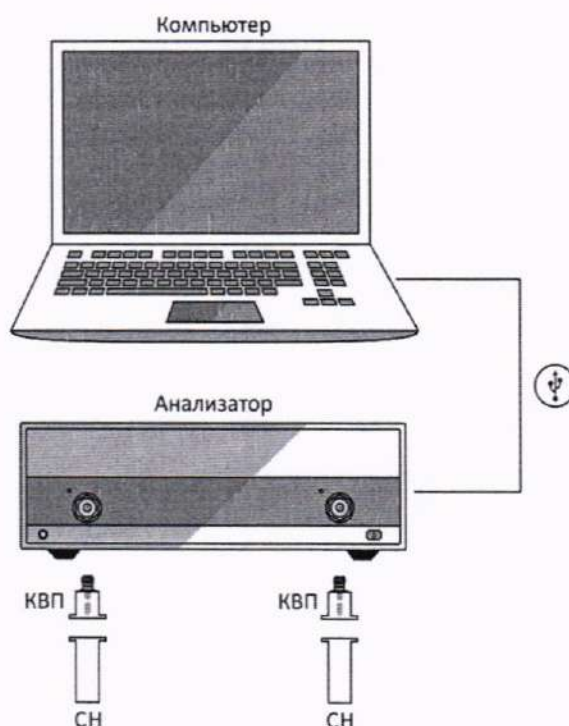
$\pm[0,008 + 0,017 \cdot |S_{ii}| + 0,013 \cdot |S_{ii}|^2]$ в диапазоне частот от 2,59 до 18,00 ГГц включ.;

$\pm[0,013 + 0,017 \cdot |S_{ii}| + 0,025 \cdot |S_{ii}|^2]$ в диапазоне частот св. 18,00 до 37,50 ГГц;

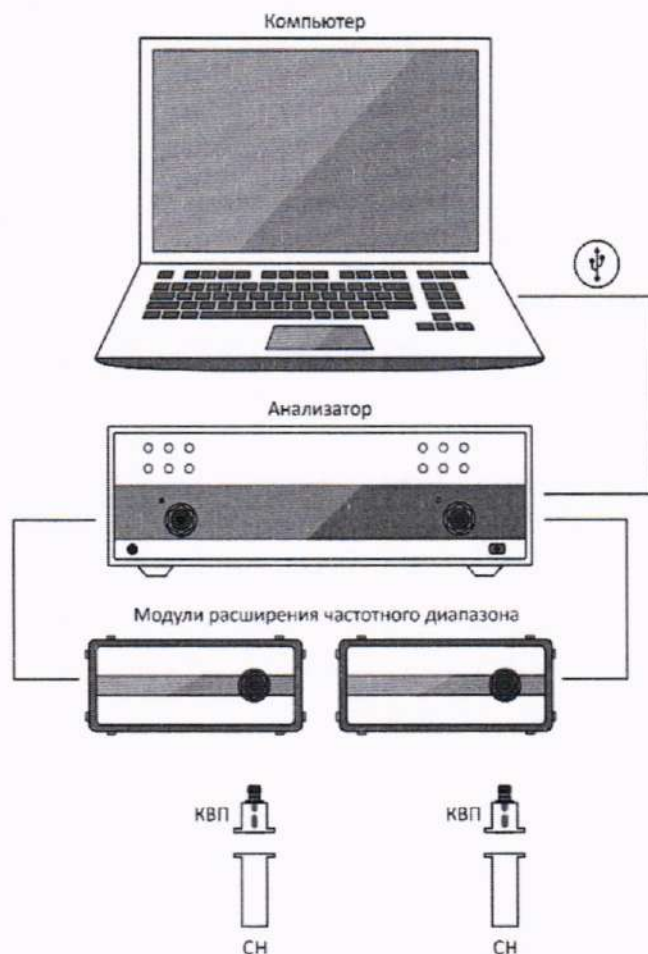
- значения абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента отражения в диапазоне значений от минус 180 до 180 градусов находятся в пределах $\pm[1,0 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta|S_{ii}|/|S_{ii}|)]$.

10.8 Проверка уровня собственного шума приёмников

10.8.1 Подключить нагрузки согласованные к измерительным портам анализатора в соответствии с рисунком 4.



а) Схема измерений уровня собственного шума приёмников при работе анализатора без модулей



б) Схема измерений уровня собственного шума приёмников при работе анализатора с модулями

Рисунок 4 – Схема измерений уровня собственного шума приёмников

10.8.2 Установить на анализаторе параметры по умолчанию, режим измерений мощности приемника А, порт стимула 2, уровень выходной мощности 0 дБм, полосу фильтра промежуточной частоты 1 Гц, количество точек не менее 10.

10.8.3 За результат принимается значение параметра «сред», считанное из маркера «Статистика» программного обеспечения.

10.8.4 Результаты поверки считать положительными, если уровень собственного шума приёмников не превышает нижеперечисленных значений:

- минус 133 дБ (1 мВт)/Гц в диапазоне частот от 2,59 до 18,00 ГГц включ.;
- минус 130 дБ (1 мВт)/Гц в диапазоне частот свыше 18,00 до 36,00 ГГц включ.;
- минус 120 дБ (1 мВт)/Гц в диапазоне частот свыше 36,00 до 37,50 ГГц включ.

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 Анализатор признается годным, если в ходе поверки все результаты поверки положительные.

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

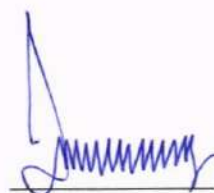
11.3 При положительных результатах поверки по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдаётся свидетельство о поверке.

11.4 Нанесение знака поверки на средство измерений не предусмотрено.

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

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

Начальник НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»



О.В. Каминский

Начальник центра 14 НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»



И.П. Чирков

Ведущий инженер центра 14 НИО-1
ФГУП «ВНИИФТРИ»



О. А. Коновалова