СОГЛАСОВАНО
Главный метролог
АО «ПриСТ»

_____ А. Н. Новиков

м.п.

«10» июля 2026 г.

# «ГСИ. АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА ПОРТАТИВНЫЕ АКИП-4216А. МЕТОДИКА ПОВЕРКИ»

МП-ПР-33-2026

Москва
2026

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая методика распространяется на анализаторы спектра портативные АКИП-4216А (далее анализаторы) и устанавливает методы и средства их поверки.

Прослеживаемость при поверке анализаторов обеспечивается в соответствии со следующими государственными поверочными схемами:

- государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 30.12.2019 г. № 3461, к Государственному первичному эталону единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах диапазоне частот от 0,03 до 37,50 ГГц – ГЭТ 26-2010;
- государственной поверочной схемой, утвержденной приказом Росстандарта от 26.09.2022 г. № 2360, к Государственному первичному эталону единиц времени, частоты и национальной шкалы времени – ГЭТ 1-2022.

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

Допускается проведение периодической поверки анализаторов для меньшего числа измеряемых величин.

Для обеспечения реализации методики поверки при определении метрологических характеристик по п. п. 9.1 – 9.14 применяется метод прямых измерений.

## 2. ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Таблица 1 – Перечень операций поверки

| Наименование операции поверки | Обязательность выполнения операций поверки при | | Номер раздела (пункта) методики поверки |
|---|---|---|---|
| | первичной поверке | периодической поверке | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. Внешний осмотр средства измерений | Да | Да | Раздел 6 |
| 2. Подготовка к поверке и опробование средства измерений | Да | Да | Раздел 7 |
| 3. Проверка программного обеспечения средства измерений | Да | Да | Раздел 8 |
| 4 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям | | | Раздел 9 |
| 5 Определение абсолютной погрешности установки уровня сигнала на частоте 50 МГц | Да | Да | 9.1 |
| 6 Определение абсолютной погрешности измерений уровня из-за нелинейности логарифмической шкалы | Да | Да | 9.2 |
| 7 Определение погрешности измерений уровня сигнала из-за переключения входного аттенюатора | Да | Да | 9.3 |
| 8 Определение погрешности установки полос пропускания фильтров промежуточной частоты | Да | Да | 9.4 |
| 9 Определение погрешности измерения уровня при изменении полосы пропускания | Да | Да | 9.5 |
| 10 Определение спектральной плотности фазовых шумов | Да | Да | 9.6 |
| 11 Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики | Да | Да | 9.7 |
| 12 Определение погрешности измерения частоты маркером и встроенным частотомером | Да | Да | 9.8 |
| 13 Определение уровня помех, обусловленных гармоническими искажениями второго порядка | Да | Да | 9.9 |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 14 Определение относительного уровня помех, обусловленных интермодуляционными искажениями третьего порядка | Да | Да | 9.10 |
| 15 Определение среднего уровня собственных шумов | Да | Да | 9.11 |
| 16 Определение метрологических характеристик трекинг-генератора | Да | Да | 9.12 |
| 17 Определение среднеквадратического значения шумов измерительного тракта | Да | Да | 9.13 |
| 18 Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи и отражения | Да | Да | 9.14 |
| 19 Оформление результатов поверки | Да | Да | Раздел 10 |

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:
– температура окружающего воздуха от плюс 15 °С до плюс 25 °С;
– относительная влажность от 20 % до 80 %;
– атмосферное давление от 84 до 106 кПа;
– напряжение питающей сети от 200 до 240 В;
– частота питающей сети от 47 до 63 Гц.

## 4. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

Таблица 2 – Средства поверки

| Операции поверки, требующие применение средств поверки | Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки | Перечень рекомендуемых средств поверки |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 7.1 | Средства измерений температуры окружающей среды от +10 до +30 °С с абсолютной погрешностью не более ±1 °С;<br>Средства измерений относительной влажности окружающего воздуха от 20 до 80 % с абсолютной погрешностью ±3 % | Термогигрометр Fluke мод. 1620A DewK (рег. № 58174-14) |
| | Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 84 до 106,7 кПа с абсолютной погрешностью ±5 гПа | Измеритель давления Testo 511 (рег. № 53431-13) |
| | Средства измерений переменного напряжения в диапазоне от 50 до 480 В. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений переменного напряжения 2 %.<br>Средства измерений частоты от 45 до 60 Гц. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений частоты 1 %. | Прибор измерительный универсальный параметров электрической сети DMG 800 (рег. № 49072-12) |
| 9.1, 9.8 | Средства измерений времени и частоты. Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения частоты $\pm 5 \cdot 10^{-11}$. | Стандарт частоты рубидиевый GPS-12RG рег. № 70172-18 |

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 9.1 – 9.8 | Диапазон частот выходного сигнала от 1 мГц до 4 ГГц; пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты $\pm 5 \cdot 10^{-8}$; пределы допускаемой абсолютной погрешности установки уровня в диапазоне от -20 до -40 дБм на частоте 50 МГц не более ±0,05 дБ; пределы допускаемой абсолютной погрешности установки уровня выходного сигнала в диапазоне частот от 100 кГц до 4 ГГц не более ±0,3 дБ; диапазон установки ослабления от 0 до 116 дБ; пределы допускаемой абсолютной погрешности установки ослабления в диапазоне от 0 до 64 дБ не более ±0,03 дБ; уровень гармонических составляющих в выходном сигнале не более -70 дБ.<br>Вспомогательное оборудование:<br>Фильтры нижних частот (ФНЧ) «Mini-Circuitsc» с полосой пропускания: 45 МГц, 800 ГГц, 3 ГГц, 6 ГГц | Калибратор многофункциональный Fluke 9640A-LPNX рег. № 55872-13 |
| 9.7 – 9.10 | Диапазон частот выходного сигнала от 250 кГц до 40 ГГц (с опцией 540); пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты $\pm 7{,}5 \cdot 10^{-8}$. | Генератор сигналов E8257D рег. № 53941-13. |
| 9.13, 9.14 | Диапазон рабочих частот от 0 до 18 ГГц.<br>Пределы допускаемой абсолютной погрешности фазы КО мер КЗ/ХХ: ±(0,65…1,5)°.<br>Предел допускаемых значений обратных потерь согласованных нагрузок: не менее минус 38…48 дБ (в зависимости от частоты). | Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85054D рег. № 53566-13 |
| 9.14 | Диапазон рабочих частот от 0 до 18 ГГц.<br>Пределы допускаемой погрешности аттенюаторов:<br>– ослабление 20 дБ: ±0,8 дБ;<br>– ослабление 50 дБ: ±1,5 дБ;<br>– модуль КО: ±0,005…±0,008;<br>– фаза КП: ±0,8…±1,5°. | Набор мер коэффициентов передачи и отражения 3663-1 рег. № 60436-15 |
| 9.13, 9.14 | Диапазон рабочих частот от 0 до 26,5 ГГц.<br>Пределы допускаемой абсолютной погрешности фазы КО мер КЗ/ХХ: от ±0,48° до ±1,75° (в зависимости от частоты).<br>Предел допускаемых значений обратных потерь согласованных нагрузок: не менее минус 34…46 дБ. | Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85052D рег. № 53567-13 |
| 9.14 | Диапазон рабочих частот от 0 до 26,5 ГГц.<br>Пределы допускаемой абсолютной погрешности:<br>– ослабление 20 дБ: ±0,75 дБ;<br>– ослабление 40 дБ: ±6,0 дБ;<br>– фаза КП 20 дБ: ±5,25°;<br>– фаза КП 40 дБ: ±51°. | Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85053B рег. № 53567-13 |
| 9.7, 9.12 | Частотный диапазон от 0 до 33 ГГц, пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения мощности в диапазоне частот, %:<br>– от 0 до 100 МГц включительно ±0,9;<br>– свыше 100 МГц до 8 ГГц включительно ±1,6;<br>– свыше 8 ГГц до 33 ГГц включительно ±2,6. | Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ NRP-33T рег. № 69958-17 |
| Вспомогательное оборудование | | |
| 9.7, 9.10 | Диапазон частот от 0 до 18 ГГц, максимальная мощность 0,5 Вт | Делитель мощности Keysight 11667A |
| 9.7, 9.10 | Диапазон частот от 0 до 26,5 ГГц, максимальная мощность 0,5 Вт | Делитель мощности Keysight 11667B |

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 9.10 | Диапазон частот от 0 до 18 ГГц<br>Диапазон частот от 0 до 26,5 ГГц<br>Ослабление: 10 дБ | Аттенюаторы<br>Huber+Suhner |
| 9.9 | Диапазон частот от 0 до 45 МГц, 50Ом<br>Диапазон частот от 0 до 800 МГц, 50Ом<br>Диапазон частот от 0 до 1000 МГц, 50Ом<br>Диапазон частот от 0 до 1700 МГц, 50Ом<br>Диапазон частот от 0 до 3000 МГц, 50Ом<br>Диапазон частот от 0 до 6000 МГц, 50Ом | Фильтры нижних частот<br>Mini-Circuits:<br>VLF - 45+<br>VLF - 800+<br>VLF - 1000+<br>VLF - 1700+<br>VLF - 3000+<br>VLF - 6000+ |
| 9.11 | Диапазон частот от 0 до 18 ГГц<br>Диапазон частот от 0 до 26,5 ГГц | Нагрузка согласованная<br>50 Ом |

## 5. ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

5.1 При проведении поверки должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.27.0-75. ГОСТ 12.3.019-80. ГОСТ 12.27.7-75. требованиями правил по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденных приказом Минтруда России от 15 декабря 2020 года N 903н.

5.2 Средства поверки, вспомогательные средства поверки и оборудование должны соответствовать требованиям безопасности. изложенным в руководствах по их эксплуатации.

5.3 Поверитель должен пройти инструктаж по технике безопасности и иметь действующее удостоверение на право работы в электроустановках с напряжением до 1000 В с квалификационной группой по электробезопасности не ниже III.

## 6. ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Перед поверкой должен быть проведен внешний осмотр, при котором должно быть установлено соответствие поверяемого анализатора следующим требованиям:

– соответствие внешнего вида средства измерений описанию и изображению, приведенному в описании типа;

– не должно быть механических повреждений корпуса. Все надписи должны быть четкими и ясными;

– все разъемы, клеммы и измерительные провода не должны иметь повреждений и должны быть чистыми.

При наличии несоответствий поверяемый анализатор до поверки не допускается.

## 7. ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

– средства поверки и поверяемое СИ должны быть подготовлены к работе согласно руководствам по эксплуатации;

– должен быть выполнен контроль условий по обеспечению безопасности проведения поверки (раздел 5);

– должен быть выполнен контроль условий проведения поверки (раздел 3).

7.2 Опробование анализаторов проводить путем проверки их на функционирование в соответствии с руководством по эксплуатации:

- подготовить анализатор к работе в соответствии с руководством по эксплуатации;

- включить анализатор и проверить отсутствие сообщений о неисправности в процессе загрузки;

- проверить правильность прохождения процедуры самотестирования, описанной в руководстве по эксплуатации.

Результат опробования считать положительным, если на дисплее отсутствуют сообщения об ошибках, прибор функционирует согласно руководству по эксплуатации. При отрицательном результате опробования поверяемый анализатор до поверки не допускается.

## 8. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Проверка идентификационных данных программного обеспечения анализаторов осуществляется путем вывода на дисплей прибора информации о версии программного обеспечения. Вывод системной информации осуществляется по процедуре, описанной в руководстве по эксплуатации на прибор.

Результат считается положительным, если версия программного обеспечения соответствует данным, приведенным в таблице 3.

Проверка идентификационных данных программного обеспечения анализаторов осуществляется путем вывода на дисплей прибора информации о версии программного обеспечения. Вывод системной информации осуществляется по процедуре, описанной в руководстве по эксплуатации на прибор.

Результат считается положительным, если версия программного обеспечения соответствует данным, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Идентификационные данные ПО

| Идентификационные данные (признаки) | Значение |
|---|---|
| Идентификационное наименование ПО | - |
| Номер версии (идентификационный номер ПО), не ниже | 1.0.0 |
| Примечание – номер версии ПО определяется по первым трем группам цифр, разделенными точкой, допускаются любые дополнительные буквенно-цифровые обозначения. | |

## 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

### 9.1 Определение абсолютной погрешности установки уровня сигнала на частоте 50 МГц

9.1.1 Определение абсолютной погрешности установки уровня сигнала проводить методом прямых измерений с помощью калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX. В качестве опорного источника использовать стандарт частоты рубидиевый GPS-12RG.

9.1.2 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 1.

9.1.3 Установить на выходе калибратора сигнал с частотой 50 МГц и уровнем минус 20 дБм, калибратор перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты.

9.1.4 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим цифрового анализатора спектра;
- центральная частота 50 МГц;
- полоса обзора 3 кГц;
- полоса пропускания 1 кГц;
- полоса видеофильтра 1 кГц;
- опорный уровень: -18 дБм;
- аттенюатор 20 дБ;
- пиковый детектор включен;
- шкала: 5 дБ/дел.
- усреднение: Включено, 50

9.1.5 В меню «Маркер» анализатора выбрать функцию «Поиск пика» и измерить при помощи маркера уровень сигнала.

9.1.6 Установить на калибраторе уровень сигнала минус 40 дБм

9.1.7 На анализаторе спектра установить опорный уровень минус 38 дБм, включить предусилитель и повторить измерения по п. 9.1.5.

9.1.8 Вычислить погрешность измерения уровня по формуле (1):

$$\Delta P = P_{изм} - P_{ген} \quad , \tag{1}$$

где $P_{изм}$ – измеренное анализатором значение уровня сигнала;

$P_{ген}$ – установленный уровень сигнала на калибраторе.

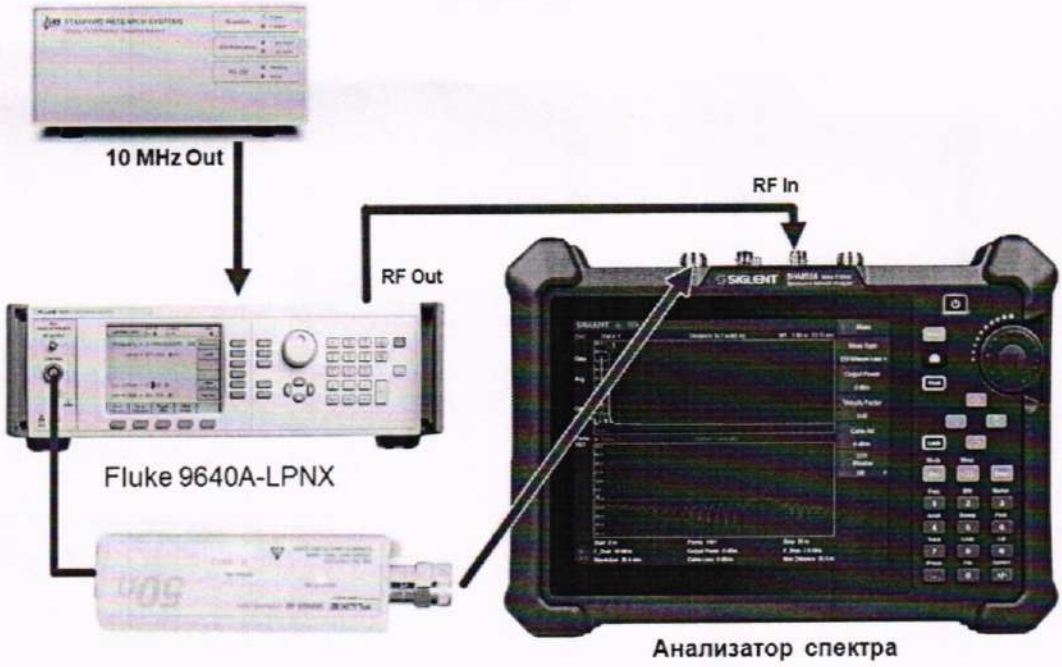



Рисунок 1 – Схема соединений при определении абсолютной погрешности установки уровня сигнала на частоте 50 МГц

9.1.9 Включить режим реального времени (RTSA) (при наличии опции SHA860-RTA) и выполнить следующие настройки:

- в окне 1 включить режим отображения спектра: Meas → View 1 → Spectrum
- центральная частота 50 МГц;
- полоса обзора 3 кГц;
- полоса пропускания 1 кГц;
- полоса видеофильтра 1 кГц;
- опорный уровень: -18 дБм;
- аттенюатор 20 дБ;
- пиковый детектор включен;
- шкала: 5 дБ/дел.
- усреднение: Включено, 50

9.1.10 Повторить измерения и расчет погрешности по п. п. 9.1.5 - 9.1.8 в режиме реального времени.

Результаты операции поверки считать положительными, если значения погрешности, вычисленные по формуле (1) не превышают допускаемых пределов, приведенных в таблице 4.

Таблица 4

| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности, дБ | Значение | |
|---|---|---|
| | в режиме цифрового анализатора спектра (Spectrum Analyzer) | в режиме анализатора спектра реального времени (RTSA) |
| - при выключенном предусилителе и уровне мощности на входе -20 дБм | ±0,4 | ±1,0 |
| - при включенном предусилителе и уровне мощности на входе -40 дБм | ±0,5 | ±1,1 |

**9.2 Определение абсолютной погрешности измерений уровня из-за нелинейности логарифмической шкалы**

9.2.1 Определение абсолютной погрешности измерений уровня из-за нелинейности шкалы проводить методом прямых измерений с помощью калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX.

9.2.2 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 1. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора.

9.2.3 Установить на выходе калибратора сигнал с частотой 50 МГц и уровнем минус 20 дБм.

9.2.4 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим цифрового анализатора спектра;
- центральная частота 50 МГц;
- полоса обзора 3 кГц;
- полоса пропускания 1 кГц;
- полоса видеофильтра 1 кГц;
- опорный уровень: 0 дБм;
- шкала: 5 дБ/дел;
- аттенюатор: Авто;
- пиковый детектор включен;
- усреднение: Включено, 50.

9.2.5 Дождаться окончания усреднения спектрограммы и измерить анализатором уровень при помощи маркера. Записать измеренное значение в таблицу 5 в качестве опорного значения.

9.2.6 Установить на калибраторе уровень мощности согласно таблице 5 и после окончания усреднения спектрограммы - измерить амплитуду маркером. Измеренные значения $P_{изм}$ записать в таблицу 5.

Таблица 5

| Уровень мощности, задаваемый калибратором $P_к$, дБ | Измеренное значение уровня анализатором $P_{изм}$, дБ |
|---|---|
| 0 | |
| -10 | |
| -20 | $P_{оп}$ |
| -30 | |
| -40 | |
| -50 | |

9.2.7 Абсолютную погрешность измерений уровня из-за нелинейности шкалы определить по формуле (2):

$$\Delta P_н = P_{изм} - P_{оп} - 20 \ , \qquad (2)$$

где $P_{оп}$ – значение уровня сигнала, измеренное при ослаблении минус 20 дБ.

Результаты операции поверки считать положительными, если полученные значения погрешности не превышают допускаемых пределов: ±0,5 дБ.

**9.3 Определение погрешности измерений уровня сигнала из-за переключения входного аттенюатора**

9.3.1 Определение погрешности измерений уровня сигнала из-за переключения входного аттенюатора проводить методом прямых измерений с помощью калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX.

9.3.2 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 1.

9.3.3 Установить на выходе калибратора сигнал с частотой 50 МГц и уровнем минус 40 дБм. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора.

9.3.4 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим цифрового анализатора спектра;
- центральная частота 50 МГц;
- полоса обзора 3 кГц;
- полоса пропускания 1 кГц;

- полоса видеофильтра 1 кГц;
- аттенюатор 20 дБ;
- шкала: 5 дБ/дел;
- пиковый детектор включен;
- опорный уровень: -30 дБм;
- усреднение: Включено, 50.

9.3.5 С помощью меню «Поиск пика» измеряют амплитуду сигнала. Записывают измеренное значение в таблицу 6 как $P_{оп}$. Далее установить настройки согласно таблице 6 и после окончания усреднения спектрограммы измерить амплитуду маркером. Измеренные значения $P_{изм}$ записать в таблицу 6.

Таблица 6

| Ослабление внутреннего аттенюатора анализатора А, дБ | Измеренное значение уровня, $P_{изм}$, дБ |
|---|---|
| 0 | |
| 10 | |
| 20 | $P_{оп}$ |
| 30 | |
| 40 | |
| 50 | |

9.3.6 Погрешность измерений уровня сигнала из-за переключения входного аттенюатора определить по формуле (3):

$$\Delta A = (P_{оп} - P_{изм}) \ , \qquad (3)$$

где $P_{оп}$ – значение уровня сигнала, измеренное при ослаблении внутреннего аттенюатора анализатора 20дБ;

$P_{изм}$ – значение уровня сигнала, измеренное анализатором при заданных из таблицы 6 параметрах.

Результаты операции поверки считать положительными, если вычисленные по формуле (3) значения погрешностей не превышают допускаемых пределов: ±0,5 дБ.

**9.4 Определение погрешности установки полос пропускания фильтров промежуточной частоты**

9.4.1 Определение погрешности установки полос пропускания фильтров промежуточной частоты проводить методом прямых измерений с помощью калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX.

9.4.2 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 1. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора.

9.4.3 Установить на выходе калибратора сигнал с частотой 50 МГц и уровнем минус 10 дБм.

9.4.4 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим цифрового анализатора спектра;
- центральная частота 50 МГц;
- полоса пропускания: 1 МГц, далее значения устанавливать из таблицы 7;
- полоса обзора: 1,5 х (полоса пропускания); (для полос пропускания 1 Гц - 30 Гц установить полосу обзора 100 Гц);
- опорный уровень: -10 дБм;
- шкала: 5 дБ/дел;
- пиковый детектор включен;
- усреднение: Включено, 10.

9.4.5 В меню анализатора включить измерение по уровню (N дБ) и установить уровень минус 3 дБ. Результат измерения записать в таблицу 7. Повторить измерения для других значений полос пропускания, устанавливая их в соответствии с таблицей 7.

Таблица 7

| Установленная полоса пропускания | Измеренная полоса пропускания |
|---|---|
| 1 Гц | |
| 3 Гц | |
| 30 Гц | |
| 300 Гц | |
| 3 кГц | |
| 30 кГц | |
| 300 кГц | |
| 3 МГц | |
| 10 МГц | |

9.4.6 Рассчитать погрешность полосы пропускания по формуле (4):

$$\delta RBW = \left[\left(RBW_{уст} - RBW_{изм}\right)/RBW_{уст}\right] \cdot 100\ \%\ , \qquad (4)$$

где $RBW_{уст}$ – номинальное значение полосы пропускания, установленное в меню полосы пропускания анализатора, Гц;

$RBW_{изм}$ – измеренное действительное значение полосы пропускания, Гц.

Результаты операции поверки считать положительными, если погрешность установки полос пропускания не превышает допускаемых пределов:

для $RBW_{уст}$=1 Гц: ±1 Гц;

для $RBW_{уст}$ от 3 Гц до 300 Гц включительно: $\pm(0{,}05 \cdot RBW_{уст}+1)$ Гц;

для $RBW_{уст}$ св. 300 Гц: $\pm 0{,}05 \cdot RBW_{уст}$.

**9.5 Определение погрешности измерения уровня при изменении полосы пропускания**

9.5.1 Определение погрешности измерения уровня при изменении полосы пропускания проводить методом прямых измерений с помощью калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX.

9.5.2 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 1. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора.

9.5.3 Установить на выходе калибратора сигнал с частотой 50 МГц и уровнем минус 10 дБм. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора.

9.5.4 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим цифрового анализатора спектра;
- центральная частота 50 МГц;
- полоса пропускания 10 кГц;
- полоса обзора 150 кГц;
- аттенюатор 10 дБ;
- шкала: 5 дБ/дел;
- опорный уровень: -10 дБм;
- усреднение: Включено, 10.

9.5.5 Измерить уровень сигнала при полосе пропускания 10 Гц и записать в таблицу 8 как опорное значение. На анализаторе последовательно устанавливать полосы пропускания из таблицы 8, меняя при этом полосу обзора как указано в таблице. Измерять значение уровня сигнала при изменении полосы пропускания относительно опорного значения. Измеренное значение уровня записать в таблицу 8.

Таблица 8

| Значение полосы пропускания анализатора | Полоса обзора | Измеренное значение уровня, $P_{изм}$, дБ |
|---|---|---|
| 1 Гц | 100 Гц | |
| 3 Гц | 100 Гц | |
| 30 Гц | 150 Гц | |
| 300 Гц | 1,5 кГц | |
| 3 кГц | 15 кГц | |
| 10 кГц (опорная) | 50 кГц | ($P_{оп}$) |
| 30 кГц | 150 кГц | |
| 300 кГц | 1,5 МГц | |
| 3 МГц | 15 МГц | |
| 10 МГц | 30 МГц | |

9.5.6 Рассчитать отклонение амплитуды по формуле (5):

$$\Delta A = (P_{оп} - P_{изм}) \ , \qquad (5)$$

Результаты операции поверки считать положительными, если отклонение измеренного значения уровня при установленных полосах пропускания относительно опорной 10 кГц не превышает: ±0,26 дБ.

**9.6 Определение спектральной плотности фазовых шумов**

9.6.1 Определение спектральной плотности фазовых шумов проводить методом прямых измерений с помощью калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX.

9.6.2 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 1. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора.

9.6.3 Установить на выходе генератора сигнал с частотой 1 ГГц и уровнем минус 20 дБм, генератор перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты.

9.6.4 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим цифрового анализатора спектра;
- центральная частота: 1000 МГц;
- полоса обзора: 30 кГц;
- полоса пропускания: 100 Гц;
- опорный уровень: -19 дБм;
- пиковый детектор включен;
- усреднение: Включено, 100.

9.6.5 Дождаться окончания усреднения спектрограммы. С помощью меню «Маркер» включить маркер 1, с помощью меню «Поиск пика» установить маркер анализатора на максимум сигнала. Затем включить в меню «Маркер» режим дельта-маркера. Отстроить дельта-маркер от сигнала на 10 кГц, и измерить уровень сигнала при данной отстройке ΔMkr1 (дБ). Привести данный уровень к полосе 1 Гц, рассчитав значение $P_{фш}$ по формуле (6):

$$P_{фш} = \Delta Mkr1 - 10 \cdot \lg(\text{полоса пропускания}/1\ \text{Гц}) \qquad (6)$$

9.6.6 Повторить измерения для отстроек 100 кГц и 1 МГц, полосы пропускания устанавливать соответственно 1 кГц и 3 кГц, полосы обзора 300 кГц и 3 МГц соответственно.

Результаты операции поверки считать положительными, если уровень фазовых шумов не превышает допускаемых значение:

для отстроек 10 кГц: -100 дБ/Гц;

для отстроек 100 кГц: -100 дБ/Гц;

для отстройки 1 МГц: -105 дБ/Гц.

**9.7 Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики**

9.7.1 Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) проводить методом прямых измерений с помощью генератора сигналов E8257D и (или) калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX, в зависимости от частотного диапазона анализатора спектра. Уровень мощности на выходе генератора устанавливать показаниям ваттметра поглощаемой мощности СВЧ поглощаемой мощности СВЧ NRP.

9.7.2 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 2. При использовании калибратора Fluke – подключение осуществлять напрямую ко входу анализатора без использования ваттметра. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с генератора или калибратора Fluke.

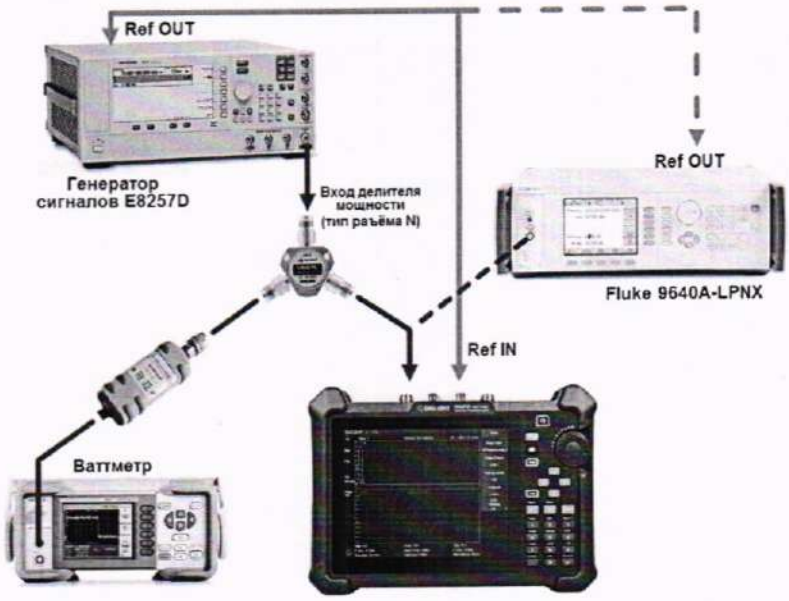



Рисунок 2 – Схема соединений при определении неравномерности амплитудно-частотной характеристики

9.7.3 Установить на выходе генератора сигнал с частотой 50 МГц и уровнем минус 20 дБм.

9.7.4 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим цифрового анализатора спектра;
- центральная частота 50 МГц;
- полоса обзора 5 кГц;
- полоса пропускания 1 кГц;
- опорный уровень: -15 дБм;
- аттенюатор 20 дБ;
- предусилитель выключен;
- пиковый детектор включен;
- шкала: 5 дБ/дел;
- усреднение: Включено, 10.

9.7.5 Измерить при помощи маркера уровень сигнала на опорной частоте 50 МГц. Записать измеренное значение уровня в таблицу 9.

9.7.6 Последовательно устанавливая значение частот на генераторе из таблицы 9, и устанавливая уровень минус 20 дБм по показаниям ваттметра, произвести измерение уровня анализатором при помощи маркера, устанавливая соответствующую центральную частоту. Записать результаты измерений в таблицу 9. Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора спектра.

9.7.7 Установить на калибраторе (генераторе) уровень сигнала минус 40 дБм.

9.7.8 На анализаторе спектра установить опорный уровень минус 40 дБм, включить предусилитель и повторить измерения с включенным предусилителем. Записать результаты измерений в таблицу 9.

Таблица 9

| Частота сигнала, установленная на генераторе | Измеренное значение уровня $P_{изм}$, дБ | |
|---|---|---|
| | С выключенным предусилителем | С включенным предусилителем |
| 50 МГц (опорная) | $P_{оп}$ = | $P_{оп}$ = |
| 250 кГц | | |
| 10 МГц | | |
| 500 МГц | | |
| 1 ГГц | | |
| 2 ГГц | | |
| 3 ГГц | | |
| 3,6 ГГц | | |
| 4 ГГц | | |
| 5 ГГц | | |
| 6 ГГц | | |
| 7 ГГц | | |
| 7,5 ГГц | | |
| 8 ГГц | | |
| 9 ГГц | | |
| 10 ГГц | | |
| 11 ГГц | | |
| 12 ГГц | | |
| 13 ГГц | | |
| 14 ГГц | | |
| 15 ГГц | | |
| 16 ГГц | | |
| 17 ГГц | | |
| 18 ГГц | | |
| 19 ГГц | | |
| 20 ГГц | | |
| 21 ГГц | | |
| 22 ГГц | | |
| 23 ГГц | | |
| 24 ГГц | | |
| 25 ГГц | | |
| 26 ГГц | | |
| 26,5 ГГц | | |

9.7.9 Вычислить значение неравномерности АЧХ анализатора по формуле (7):

$$\Delta АЧХ = (P_{оп} - P_{изм}) \ , \quad (7)$$

где $P_{оп}$ – значение уровня, измеренное анализатором на частоте 50 МГц,

$P_{изм}$ – значение уровня, измеренное на частотах из таблицы 9.

Результаты операции поверки считать положительными, если полученные значения неравномерности АЧХ не превышают значений:

±0,8 дБ с выключенным предусилителем,

±1,2 дБ с включенным предусилителем.

**9.8 Определение погрешности измерения частоты маркером и встроенным частотомером**

9.8.1 Определение погрешности измерения частоты маркером и встроенным частотомером проводить методом прямых измерений с помощью генератора сигналов E8257D и (или) калибратора

многофункционального Fluke 9640A-LPNX. В качестве опорного источника использовать стандарт частоты рубидиевый GPS-12RG.

9.8.2 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 3. В зависимости от частотного диапазона соединить вход анализатора с выходом генератора E8257 или калибратора Fluke.

9.8.3 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим цифрового анализатора спектра;
- полоса обзора: 10 кГц;
- полоса пропускания 100 Гц;
- опорный уровень: -5 дБм;
- пиковый детектор включен;
- шкала 5 dB/дел;
- центральную частоту устанавливать равной частоте сигнала генератора в соответствии с таблицей 10.

9.8.4 Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора спектра.

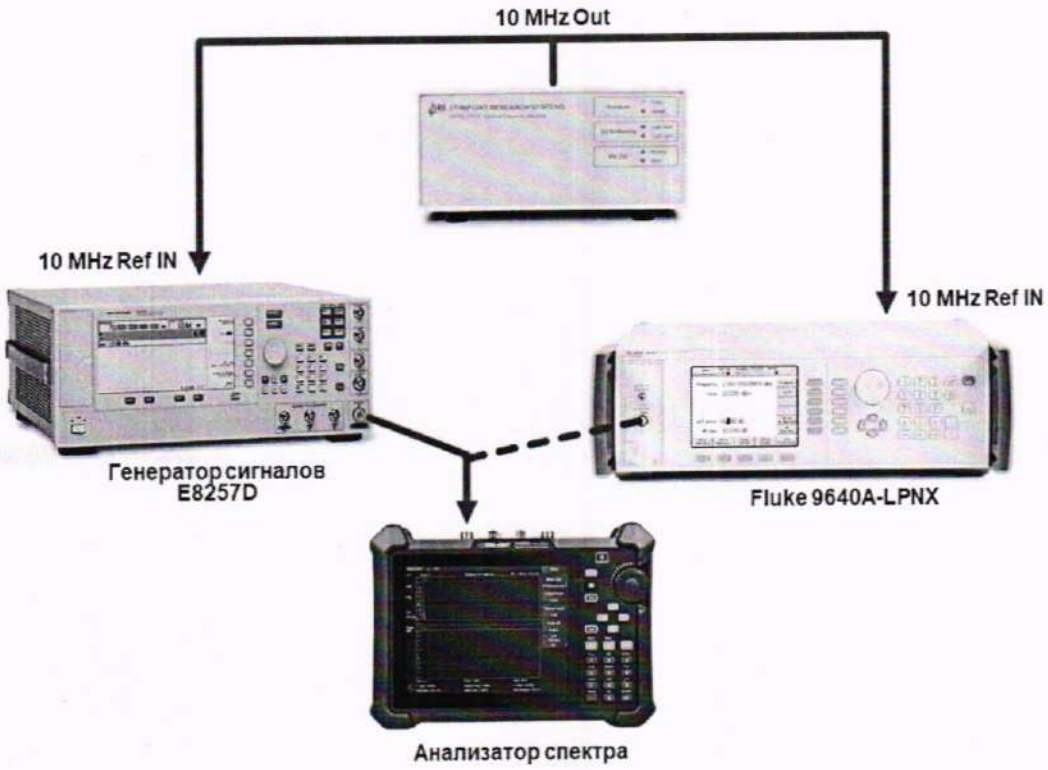



Рисунок 3

Таблица 10

| Частота сигнала, установленная на генераторе | Частота, измеренная маркером | Частота, измеренная в режиме частотомера |
|---|---|---|
| 250 кГц | | |
| 10 МГц | | |
| 1 ГГц | | |
| 2 ГГц | | |
| 3 ГГц | | |
| 3,6 ГГц | | |
| 4 ГГц | | |
| 6 ГГц | | |
| 7 ГГц | | |
| 7,5 ГГц | | |
| 10 ГГц | | |

| | | |
|---|---|---|
| 12 ГГц | | |
| 14 ГГц | | |
| 16 ГГц | | |
| 18 ГГц | | |
| 20 ГГц | | |
| 22 ГГц | | |
| 24 ГГц | | |
| 26,5 ГГц | | |

Таблица 11

| Наименование характеристики | Значение |
|---|---|
| Номинальное значение частоты опорного генератора, МГц | 10 |
| Пределы допускаемой основной относительной погрешности частоты опорного генератора $\delta_0$ | $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ |
| Разрешение по частоте в режиме измерения маркером ($k_м$), Гц | $f_{обзор}/750$ |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений частоты встроенным частотомером ($f$), Гц | $\pm((\delta_0+\delta_t)\cdot f+1)$ |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения частоты маркером, Гц | $\pm((\delta_0+\delta_t)\cdot f+$ $+0{,}01\cdot f_{обзор}+0{,}1\cdot f_{пп}+k_м)$ |

9.8.5 Частоту сигнала с генератора или калибратора устанавливать в соответствии с таблицей 10, уровень выходного сигнала минус 10 дБм.

9.8.6 В анализаторе войти в меню «Маркер», включить маркер 1 и установить маркер на пик несущей, используя функцию «поиск пика». Измерить частоту сигнала и записать измеренное значение в таблицу 10.

9.8.7 Считать показания частотомера. Для этого войти в меню «Маркер» и включить режим «Частотомер». Измерить значение частоты в режиме частотомера и записать измеренное значение в таблицу 10.

9.8.8 Рассчитать абсолютную погрешность измерения частоты по формуле (8):

$$\Delta F = F_а - F_к \quad , \tag{8}$$

где $F_а$ – значение частоты сигнала, измеренное анализатором, Гц,

$F_к$ – значение частоты сигнала, установленное на генераторе (калибраторе), Гц.

Результаты операции поверки считать положительными, если погрешность измерения частоты, рассчитанная по формуле (8) не превышает допустимых пределов, приведенных в таблице 11.

**9.9 Определение уровня помех, обусловленных гармоническими искажениями второго порядка**

9.9.1 Определение уровня помех, обусловленных гармоническими искажениями второго порядка проводить методом прямых измерений с помощью генератора сигналов E8257D. В качестве фильтра нижних частот (ФНЧ) использовать фильтры, соответствующие частоте несущей с уровнем подавления второй гармоники не менее 20 дБ.

9.9.2 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 4.

9.9 3 Установить на выходе калибратора сигнал с частотой 25 МГц и уровнем минус 20 дБм.

9.9.4 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим цифрового анализатора спектра;
- центральная частота: 22,5 МГц;
- полоса обзора: 500 Гц;
- полоса пропускания 10 Гц;
- шкала 15 dB/дел;
- опорный уровень: -20 дБм;

- усреднение: Включено, 10.

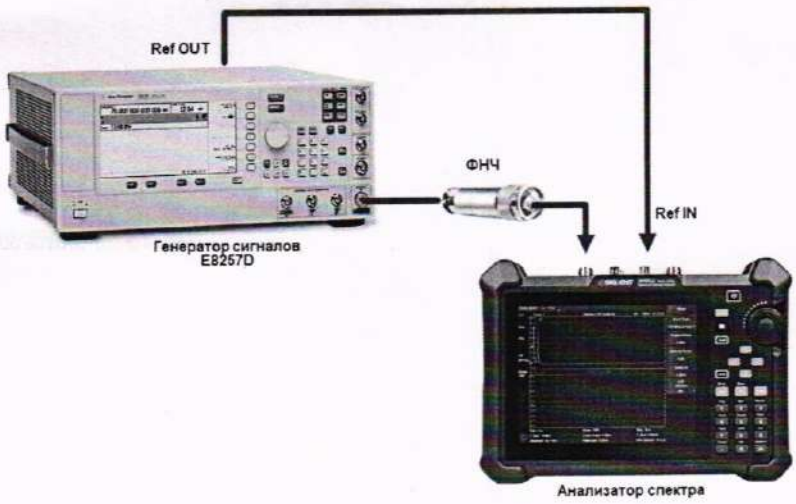



Рисунок 4 – Схема соединений при определении уровня гармонических искажений 2-го порядка

9.9.5 Дождаться окончания усреднения спектрограммы. С помощью меню «Поиск пика» измерить уровень сигнала основной гармоники $P_{f1}$. На анализаторе спектра установить значение центральной частоты в два раза больше выходной частоты калибратора. После окончания усреднения спектрограммы маркером измерить уровень сигнала второй гармоники $P_{2f1}$.

9.9.6 Уровень гармонических искажений определить по формуле (9).

$$dBc = P_{2f1} - P_{f1} \quad , \tag{9}$$

где $P_{2f1}$ – уровень второй гармоники,

$P_{f1}$ – уровень основной гармоники.

9.9.7 Повторить измерения на частоте сигнала 400 МГц, 500 МГц, 850 МГц, 1500 МГц, 3000 МГц, 6500 МГц, 9500 МГц, 13000 МГц. Установку частоты осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора спектра.

Допускается использовать ФНЧ с другими полосами пропускания при этом установку частоты производить в соответствии с частотой используемого фильтра. Для частот свыше 4,5 ГГц фильтры не использовать.

Результаты операции поверки считать положительными, если уровень второй гармоники относительно уровня несущей не более:

-65 дБ для диапазона частот 50 МГц – 7 ГГц;

-62 дБ для диапазона частот 7 ГГц – 13,25 ГГц.

### 9.10 Определение относительного уровня помех, обусловленных интермодуляционными искажениями третьего порядка

9.10.1 Определение относительного уровня помех, обусловленных интермодуляционными искажениями третьего порядка проводить методом прямых измерений с помощью двух генераторов E8257D.

9.10.2 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 5. Сигнал с выхода внутренней опорной частоты генератора 1 подключить на вход внешней опорной частоты генератора 2 и поверяемого анализатора спектра.

9.10.3 На генераторе 1 установить частоту 99,95 МГц, уровень минус 4 дБм; на генераторе 2 – (частота 1-ого генератора + 100 кГц), уровень сигнала установить минус 4 дБм.

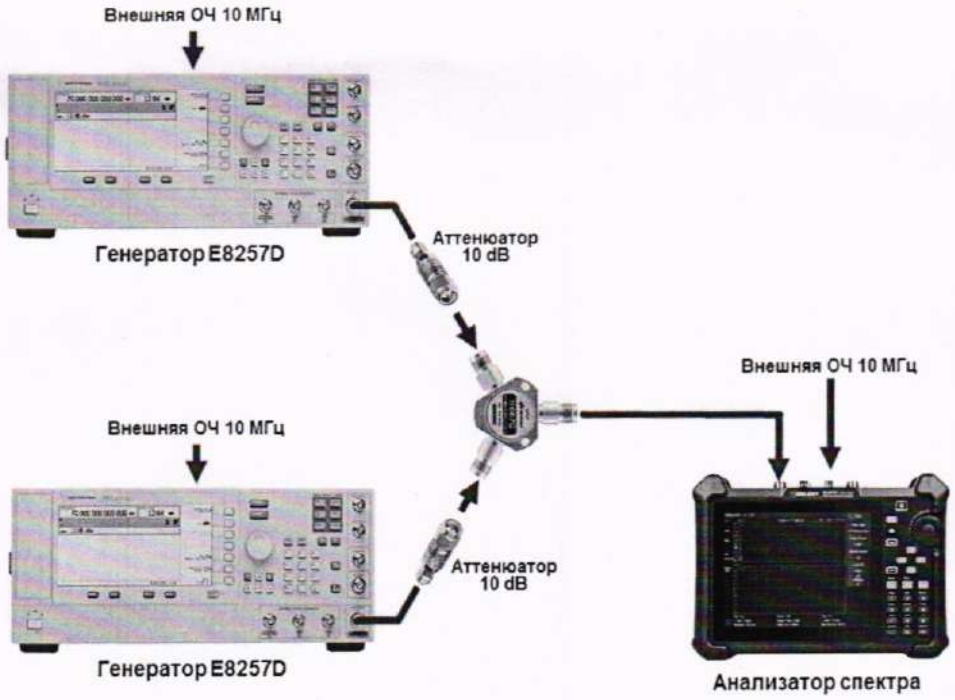



Рисунок 5 – Схема соединений при определении уровня интермодуляционных искажений 3-го порядка

9.10.4 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим цифрового анализатора спектра;
- центральная частота = частоте генератора 1;
- полоса обзора: 300 кГц;
- опорный уровень: -20 дБм;
- аттенюатор: 0 дБм;
- усреднение: Включено, 20.

9.10.5 С помощью меню «Маркер» и «Поиск пика», установить маркер анализатора поочередно на максимум одного из сигналов и регулировкой выходной мощности генераторов настроить уровни сигналов по экрану анализатора на минус 20 дБм.

9.10.6 В меню измерений анализатора выбрать функцию TOI и измерить значения точки пересечения третьего порядка.

9.10.7 Повторить измерения для частот 1-го генератора: 999,95 МГц, 3499,95 МГц, 7399,95 МГц, 13899,95 МГц, 19899,95 МГц, 26399,95 МГц. Установку частот осуществлять в соответствии с диапазоном частот анализатора спектра.

Результаты операции поверки считать положительными, если значения точки пересечения третьего порядка (TOI) не менее:

для диапазона частот от 50 МГц до 3,05 ГГц включ – +9,5 дБ;

для диапазона частот св. 3,05 до 3,75 ГГц включ – +13 дБ;

для диапазона частот св. 3,75 до 13,25 ГГц включ – +9 дБ.

**9.11 Определение среднего уровня собственных шумов**

9.11.1 Определение среднего уровня собственных шумов выполняется методом прямых измерений и определяется как максимальный уровень отображаемой шумовой дорожки при следующих значениях параметров анализатора: аттенюатор 0 дБ, полоса пропускания 10 Гц, полоса видеофильтра 10 Гц, полоса обзора 500 Гц, опорный уровень минус 70 дБ относительно 1 мВт, усреднение более 50.

9.11.2 На вход анализатора спектра подключить согласованную нагрузку 50 Ом.

9.11.3 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;

- режим цифрового анализатора спектра;
- предусилитель: Выкл;
- опорный уровень: -70 дБм;
- шкала 15 dB/дел;
- аттенюатор: 0 дБ;
- усреднение: Включено, 50;
- детектор Sample.
- начальную и конечную частоты устанавливать в соответствии с таблицей 12.

Таблица 12 - Средний уровень собственных шумов

| Начальная частота | Конечная частота | Измеренный средний уровень собственных шумов | |
|---|---|---|---|
| | | с выключенным предусилителем | с включенным предусилителем |
| 100 кГц | 1 МГц | | |
| 1 МГц | 10 МГц | | |
| 10 МГц | 600 МГц | | |
| 600 МГц | 1,8 ГГц | | |
| 1,8 ГГц | 3,05 ГГц | | |
| 3,05 ГГц | 3,65 ГГц | | |
| 3,65 ГГц | 4,15 ГГц | | |
| 4,15 ГГц | 5,05 ГГц | | |
| 5,05 ГГц | 5,9 ГГц | | |
| 5,9 ГГц | 6,7 ГГц | | |
| 6,7 ГГц | 7,5 ГГц | | |
| 7,5 ГГц | 9,3 ГГц | | |
| 9,3 ГГц | 12 ГГц | | |
| 12 ГГц | 14 ГГц | | |
| 14 ГГц | 15,3 ГГц | | |
| 15,3 ГГц | 20 ГГц | | |
| 20 ГГц | 22,6 ГГц | | |
| 22,6 ГГц | 26,5 ГГц | | |

9.11.4 В качестве начальной и конечной частот поочередно устанавливать значения из таблицы 12. Дождаться окончания усреднения спектрограммы.

9.11.5 При помощи меню «Поиск пика» произвести измерения максимального уровня отображаемой шумовой дорожки на экране прибора.

9.11.6 Установить в качестве центральной частоты частоту измеренного максимального уровня. Данную операцию выполнить при помощи функции маркера M-CF. Далее – выполнить следующие настройки на анализаторе:

- полоса пропускания: 10 Гц;
- видеофильтр: 10 Гц;
- полоса обзора 1 кГц.

9.11.7 Включить функцию измерения Channel Power. В настройках измерения установить:

- Integration BW: 1 кГц;
- полоса обзора 1 кГц.

9.11.8 Записать измеренное значение среднего уровня собственных шумов, приведенное к полосе пропускания 1 Гц из колонки измерений «Power Spectral Density».

9.11.9 Повторить измерения для остальных диапазонов частот, указанных в таблице 12.

9.11.10 Повторить измерения по п. п. 9.11.1 – 9.11.9, включив в меню встроенный предусилитель.

Результаты операции поверки считать положительными, если средний уровень собственных шумов анализатора, приведенный к полосе пропускания 1 Гц, не превышает значений, приведенных в таблице 13.

Таблица 13

| | | |
|---|---|---|
| Средний уровень собственных шумов, дБ, не более | Для модификаций, с выключенным/включенным предусилителем: | |
| | от 100 кГц до 1 МГц | -125/-125 |
| | св. 1 до 10 МГц | -142/-162 |
| | св. 10 МГц до 600 МГц | -140/-159 |
| | св. 600 МГц до 1,8 ГГц | -138/-158 |
| | св. 1,8 до 3,05 ГГц | -134/-156 |
| | св. 3,05 до 3,65 ГГц | -134/-158 |
| | св. 3,65 до 4,15 ГГц | -137/-154 |
| | св. 4,15 до 5,05 ГГц | -135/-157 |
| | св. 5,05 до 5,9 ГГц | -133/-153 |
| | св. 5,9 до 6,7 ГГц | -133/-153 |
| | св. 6,7 до 7,5 ГГц | -134/-154 |
| | св. 7,5 до 9,3 ГГц | -133/-153 |
| | св. 9,3 до 12 ГГц | -133/-153 |
| | св. 12 до 14 ГГц | -134/-153 |
| | св. 14 до 15,3 ГГц | -134/-153 |
| | св. 15,3 до 20 ГГц | -134/-152 |
| | св. 20 до 22,6 ГГц | -133/-150 |
| | св. 22,6 до 26,5 ГГц | -128/-146 |

**9.12 Определение метрологических характеристик трекинг-генератора (опция)**

9.12.1 Определение метрологических характеристик трекинг-генератора проводить методом прямых измерений с помощью ваттметра поглощаемой мощности СВЧ NRP.

9.12.2 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 6.

9.12.3 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим векторного анализатора цепей VNA;
- режим измерения S11.

9.12.4 Задать на выходе следящего генератора уровень выходного сигнала 0 дБм и установить частоту сигнала 250 МГц. Установки выполнить в соответствии с руководством по эксплуатации.

9.12.5 Измерить уровень сигнала ваттметром и записать, как $P_{оп}$.

9.12.6 Вычислить значение абсолютной погрешности установки уровня $\Delta P_{оп}$ по формуле (10):

$$\Delta P_{оп} = P_{уст} - P_{оп} \quad , \tag{10}$$

где $P_{уст}$ – значение уровня на выходе генератора, установленное по индикатору анализатора, дБ;

$P_{оп}$ – значение уровня, измеренное ваттметром на частоте 250 МГц, дБ.

Результаты измерений уровня сигнала на выходе следящего генератора считать положительными, если значение абсолютной погрешности, вычисленное по формуле (10) не превышает допускаемых пределов: ±1 дБ.

9.12.7 Для определения неравномерности АЧХ провести измерение уровня сигнала с помощью ваттметра на частотах, указанных в таблице 14. Измеренные значения уровня мощности $P_f$ записать в таблицу 14.




Рисунок 6 – Схема соединений при определении метрологических характеристик следящего генератора

Таблица 14

| Частота сигнал, установленная на следящем генераторе, МГц | Значения уровня выходной мощности, установленные на выходе следящего генератора, дБ | Измеренные ваттметром значения уровня мощности $P_f$, дБ |
|---|---|---|
| 0,1 | 0 | |
| 1 | 0 | |
| 5 | 0 | |
| 10 | 0 | |
| 250 | 0 | $P_{оп=}$ |
| 500 | 0 | |
| 1000 | 0 | |
| 1500 | 0 | |
| 2000 | 0 | |
| 2100 | 0 | |
| 2500 | 0 | |
| 3500 | 0 | |
| 3600 | 0 | |
| 4000 | 0 | |
| 4500 | 0 | |
| 5000 | 0 | |
| 5500 | 0 | |
| 6000 | 0 | |
| 6500 | 0 | |
| 7000 | 0 | |
| 7500 | 0 | |
| 8000 | 0 | |
| 8500 | 0 | |
| 9000 | 0 | |
| 9500 | 0 | |
| 10000 | 0 | |
| 10500 | 0 | |
| 11000 | 0 | |
| 11500 | 0 | |
| 12000 | 0 | |
| 12500 | 0 | |
| 13000 | 0 | |

| | | |
|---|---|---|
| 13500 | 0 | |
| 14000 | 0 | |
| 14500 | 0 | |
| 15000 | 0 | |
| 15500 | 0 | |
| 16000 | 0 | |
| 16500 | 0 | |
| 17000 | 0 | |
| 17500 | 0 | |
| 18000 | 0 | |
| 18500 | 0 | |
| 19000 | 0 | |
| 19500 | 0 | |
| 20000 | 0 | |
| 20500 | 0 | |
| 21000 | 0 | |
| 21500 | 0 | |
| 22000 | 0 | |
| 22500 | 0 | |
| 23000 | 0 | |
| 23500 | 0 | |
| 24000 | 0 | |
| 24500 | 0 | |
| 25000 | 0 | |
| 25500 | 0 | |
| 26000 | 0 | |
| 26500 | 0 | |

9.12.8 Вычислить значение неравномерности АЧХ по формуле (11):

$$\Delta\text{АЧХ} = P_f - P_{\text{оп}} \ , \qquad (11)$$

где $P_{\text{оп}}$ – значение уровня мощности, по показаниям ваттметра на частоте сигнала 50 МГц, дБ;

$P_f$ – значения уровня мощности, по показаниям ваттметра на частотах сигнала согласно таблице 14, дБ.

Результаты измерений неравномерности АЧХ считать положительными, если полученные по формуле (11) значения не превышают допускаемых пределов ±3 дБ.

**9.13 Определение среднеквадратического значения шумов измерительного тракта (опция)**

9.13.1 Подключить к измерительному порту 1 анализатора короткозамкнутую нагрузку, как показано на рисунке 7.

9.13.2 На анализаторе выполнить следующие установки в соответствии с руководством по эксплуатации:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим векторного анализатора цепей VNA;
- режим измерения S11;
- уровень мощности 0 дБм;
- количество точек свипирования 101;
- формат отображения частотной характеристики MLOG;
- начальная частота: в соответствии с таблицей 15;
- конечная частота: в соответствии с таблицей 15.




Рисунок 7 – Схема соединений при определении среднеквадратического отклонения значения шумов при измерении модуля и фазы коэффициента отражения

9.13.3 Добавить график ФЧХ для измерений S11 (формат отображения Phase)

9.13.4 Включить режим измерения значений частотной характеристики:

- MATH → Analysis → Statistics: ON.

Будет включен режим измерений для последней выбранной частотной характеристики. Для включения режима измерений других графиков активизировать пиктограмму этой частотной характеристики на экране и еще раз включить статистику измерений.

9.13.5 Выполнить выравнивание отображаемых на экране анализатора цепей частотных характеристик:

- MATH → Memory: Normalize.

Будет произведено выравнивание для последней выбранной частотной характеристики. Для выравнивания других графиков активизировать пиктограмму этой частотной характеристики на экране и еще раз произвести выравнивание графика частотной характеристики.

9.13.6 Выполнить автомасштабирование всех отображаемых частотных характеристик:

- Scale: Auto Scale All.

9.13.7 Зафиксировать измеренное среднеквадратическое отклонение значения шумов при измерении модуля и фазы коэффициента отражения в установленном диапазоне частот (поля Srt Dev).

9.13.8 Изменить диапазон частот и полосу пропускания в соответствии с таблицей 15.

9.13.9 Используя фазостабильный кабель соединить порт 1 и порт 2 анализатора, как показано на рисунке 8.




Рисунок 8 – Схема соединений при определении среднеквадратического отклонения значения шумов при измерении модуля и фазы коэффициента передачи

9.13.10 Повторить измерения для порта 1, выбрав в меню MEAS режим измерения S21 для модуля и фазы коэффициента передачи.

Таблица 15

| Режим измерения | Диапазон частот, МГц | | СКО шумов | |
|---|---|---|---|---|
| | Старт | Стоп | Модуля, дБ | Фазы, град |
| S11 | 0,1 | 3500 | ±0,02 | ±0,3 |
| | 3500 | 7500 | ±0,03 | ±0,5 |
| | 7500 | 14000 | ±0,07 | ±0,8 |
| | 14000 | 22600 | ±0,15 | ±1,8 |
| | 22600 | 26500 | ±0,25 | ±2,4 |
| S21 | 0,1 | 3500 | ±0,15 | ±0,18 |
| | 3500 | 7500 | ±0,15 | ±0,4 |
| | 7500 | 14000 | ±0,15 | ±0,6 |
| | 14000 | 22600 | ±0,15 | ±0,8 |
| | 22600 | 26500 | ±0,15 | ±1,0 |

Результаты операции поверки считать положительными, если среднеквадратическое отклонение значения шумов результата измерений при измерении модуля/фазы коэффициента передачи и отражения не превышает значений, указанных в таблице 15.

**9.14 Определение абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи и отражения (опция)**

9.14.1 Определение погрешности измерения модуля и фазы коэффициента отражения проводить при помощи набора мер коэффициентов передачи и отражения методом прямых измерений.

9.14.2 Установить следующие параметры анализатора:

- выполнить сброс на начальные установки;
- режим векторного анализатора цепей VNA;
- начальная частота: 100 кГц;
- конечная частота: максимальная для поверяемого анализатора;
- выходная мощность: -10 дБ;
- полоса пропускания;
- количество точек свипирования 101.

9.14.3 В меню анализатора Cal > Cal Kit и в всплывающем окне «Manage Cal Kits» выбрать калибровочный набор из комплекта поставки (при его наличии) F503, F603, F504, F604, SEM5012A, SEM5012A или при отсутствии вышеперечисленных наборов использовать один из калибровочных наборов 85032F, 85032B/E, 85033D/E.

9.14.4 При помощи выбранного набора мер, выполнить полную калибровку порта 1 согласно руководству по эксплуатации и следуя указаниям на экране анализатора. В процессе проведения калибровки, температура окружающей среды должна быть в пределах 25 ±3 °С и при проведении измерений отклонение температуры окружающего воздуха не должно превышать отклонение ±1 °С от температуры калибровки. Подключение калибровочных и эталонных мер производить с использованием ключа тарированного.

9.14.5 Подключить к анализатору для измерений к порту 1, эталонную короткозамкнутую нагрузку из набора мер согласно эксплуатационной документации. Схема подключения приведена на рисунке 9.

9.14.6 В настройках отображения данных измерений анализатора в соответствии с руководством по эксплуатации выбрать следующие параметры измерений:

- модуль коэффициента отражения S11;
- формат отображения LinMag.




Рисунок 9 – Схема соединений при определении абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента отражения

9.14.7 Добавить график частотной характеристики и для него выбрать параметры:

- модуль коэффициента отражения S11;
- формат отображения Phase.

9.14.8 Нажатием на кнопку «Маркер» включить маркерные измерения.

9.14.9 Дождаться окончания формирования графиков всех частотных характеристик и нажатием на кнопки Trigger > Hold остановить свипирование. Произвести автомасштабирование измеряемых данных.

9.14.10 Установить частоту маркера 10 МГц, записать значения коэффициентов отражения и фазы.

9.14.11 Повторить измерения маркерами на частотах 100 МГц; 1; 3; 5; 7; 7,5; 9; 11; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 26,5 ГГц, в соответствии с частотным диапазоном поверяемого анализатора.

9.14.12 Абсолютную погрешность измерений модуля и фазы коэффициента отражения вычислить по формуле (12):

$$S = S_1 - S_э \quad , \tag{12}$$

где $S_э$ – значения коэффициентов отражения и фазы для нагрузки короткозамкнутой подключенной к выбранному порту и указанные в протоколе поверки набора мер.

Результаты операции поверки считать положительными, если полученные значения погрешностей не превышают допускаемых пределов, приведенных в таблице 16.

Таблица 16

| Наименование характеристики | Допустимые значения | |
|---|---|---|
| | Модуль амплитуды, дБ | Модуль фазы, град. |
| Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента отражения | | |
| - в диапазоне частот от 100 кГц до 3,5 ГГц включ. | ±0,02 | ±1 |
| - в диапазоне частот св. 3,5 ГГц до 26,5 ГГц | ±0,03 | ±1 |
| Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи S21 | | |
| - в диапазоне частот от 100 кГц до 3,5 ГГц включ. | ±0,1 | ±1 |
| - в диапазоне частот св. 3,5 ГГц до 7,5 ГГц | ±0,1 | ±1 |

9.14.13 Подключить к анализатору для измерений к порту эталонную нагрузку холостого хода из набора мер согласно эксплуатационной документации. Схема подключения приведена на рисунке 9.

9.14.14 Провести измерения по п. 9.14.6 - 9.14.12.

9.14.15 Подключить к анализатору для измерений к порту 1 эталонную согласованную нагрузку из набора мер согласно эксплуатационной документации. Схема подключения приведена на рисунке 9.

9.14.16 Провести измерения по п 9.14.6 - 9.14.12. Измерение модуля фазы коэффициента отражения при подключенной согласованной нагрузке не производить.

9.14.17 Подключить к анализатору для измерений аттенюатор 20 дБ из набора мер 3663-1 в соответствии с рисунком 10.

9.14.18 В настройках отображения данных измерений анализатора в соответствии с руководством по эксплуатации выбрать следующие параметры измерений:

- модуль коэффициента передачи S21;
- формат отображения LogMag.




Рисунок 10 – Схема соединений при определении абсолютной погрешности измерений модуля и фазы коэффициента передачи

9.14.19 Добавить график частотной характеристики и для него выбрать параметры измерений:

- модуль коэффициента передачи S21;
- формат отображения Phase.

9.14.20 Дождаться окончания формирования графиков всех частотных характеристик и нажатием на кнопки Trigger > Hold остановить свипирование. Произвести автомасштабирование измеряемых данных.

9.14.21 Установить частоту маркера 10 МГц, записать значения коэффициентов передачи и фазы.

9.14.22 Повторить измерения маркерами на частотах 100 МГц; 1; 3; 5; 7; 7,5 ГГц, в соответствии с частотным диапазоном поверяемого анализатора.

9.14.23 Абсолютную погрешность измерений модуля коэффициента отражения и фазы коэффициента отражения вычислить по формуле (13):

$$S = S_1 - S_э \quad , \tag{13}$$

где $S_э$ – значения коэффициентов передачи и фазы для аттенюатора 20 дБ, указанные в протоколе поверки набора мер.

Результаты операции поверки считать положительными, если полученные значения погрешностей не превышают допускаемых пределов, приведенных в таблице 17.

Таблица 17

| Наименование характеристики | Значение ослабления, дБ |
|---|---|
| Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи, дБ<br>- в диапазоне частот от 100 кГц до 3,5 ГГц<br>- в диапазоне частот св. 3,5 ГГц до 7,5 ГГц | <br><br>±0,1<br>±0,1 |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи, град<br>- в диапазоне частот от 100 кГц до 3,5 ГГц<br>- в диапазоне частот св. 3,5 ГГц до 7,5 ГГц | <br><br>±1<br>±1 |

## 10 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

10.1 Результаты операции поверки подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

10.2 При положительных результатах поверки, по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке и (или) наносится знак поверки на средство измерений.

10.3 При проведении поверки в сокращенной форме информация об объеме проведенной поверки передается в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

10.4 При отрицательных результатах поверки (когда не подтверждается соответствие средства измерений метрологическим требованиям), по заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, выдается извещение о непригодности.

10.5 Протоколы поверки оформляются в соответствии с требованиями, установленными в организации, проводившей поверку.

Начальник отдела испытаний
АО «ПриСТ» О. В. Котельник

Ведущий инженер по метрологии
отдела испытаний АО «ПриСТ» Е. Е. Смердов

## Приложение А

Таблица А1 – Метрологические характеристики

| Наименование характеристики | Значение |
|---|---|
| 1 | 2 |
| Пределы допускаемой относительной погрешности частоты опорного генератора ($\delta_0$) | $\pm 5 \cdot 10^{-6}$ |
| Пределы относительной температурной нестабильности частоты опорного генератора в диапазоне температуры окружающего воздуха от 0 до +20 °С и от +30 до +50 °С ($\delta_t$) | $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ |
| Максимальное разрешение по частоте в режиме частотомера (k), Гц | 0,1 |
| Разрешение по частоте в режиме измерения маркером ($k_м$), Гц | $f_{обзор}/750$ |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений частоты встроенным частотомером ($f$), Гц | $\pm((\delta_0+\delta_t)\cdot f+1)$ |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения частоты маркером, Гц | $\pm((\delta_0+\delta_t)\cdot f+$<br>$+0{,}01\cdot f_{обзор}+0{,}1\cdot f_{пп}+k_м)$ |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки полос пропускания фильтров ПЧ по уровню -3 дБ для $f_{пп}$, Гц<br>1 Гц<br>св. 1 Гц до 10 МГц<br>10 МГц | <br>$\pm 1$<br>$\pm(0{,}05\cdot f_{пп}+1)$<br>$\pm 0{,}05\cdot f_{пп}$ |
| Уровень фазовых шумов относительно несущей 1 ГГц, приведенный к полосе 1 Гц, дБ/Гц, не более<br>- при отстройке на 10 кГц<br>- при отстройке на 100 кГц<br>- при отстройке на 1 МГц | <br>-100<br>-100<br>-105 |
| Средний уровень собственных шумов с выключенным/включенным предусилителем (аттенюатор 0 дБ, $F_{пч}$=10 Гц, усреднение св. 50), дБ[1)], не более<br>от 100 кГц до 1 МГц включ.<br>св. 1 до 10 МГц включ.<br>св. 10 до 600 МГц включ.<br>св. 600 МГц до 1,8 ГГц включ.<br>св. 1,8 до 3,05 ГГц включ.<br>св. 3,05 до 3,65 ГГц включ.<br>св. 3,65 до 4,15 ГГц включ.<br>св. 4,15 до 5,05 ГГц включ.<br>св. 5,05 до 5,90 ГГц включ.<br>св. 5,9 до 6,7 ГГц включ.<br>св. 6,7 до 7,5 ГГц включ.<br>св. 7,5 до 9,3 ГГц включ.<br>св. 9,3 до 12,0 ГГц включ.<br>св. 12 до 14 ГГц включ.<br>св. 14,0 до 15,3 ГГц включ.<br>св. 15,3 до 20,0 ГГц включ.<br>св. 20,0 до 22,6 ГГц включ.<br>св. 22,6 до 26,5 ГГц включ. | <br><br>-125/-125<br>-142/-162<br>-140/-159<br>-138/-158<br>-134/-156<br>-134/-158<br>-137/-154<br>-135/-157<br>-133/-153<br>-133/-153<br>-134/-154<br>-133/-153<br>-133/-153<br>-134/-153<br>-134/-153<br>-134/-152<br>-133/-150<br>-128/-146 |

Продолжение таблицы А1

| 1 | 2 |
|---|---|
| Неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) относительно уровня сигнала на частоте 50 МГц (опорная частота 50 МГц, внутренний аттенюатор 20 дБ), дБ, не более<br>с выключенным предусилителем,<br>с включенным предусилителем. | <br><br><br><br>±0,8<br>±1,2 |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности (центральная частота 50 МГц, пиковый детектор включен, $f_{пп}=f_{вф}$=1 кГц, ослабление входного аттенюатора 20 дБ), дБ<br>- при выключенном предусилителе (входной уровень -20 дБ)<br>- при включенном предусилителе (входной уровень -40 дБ) | <br><br><br>±0,4<br>±0,5 |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности из-за переключения полос пропускания фильтра ПЧ относительно опорной $f_{пп}$=10 кГц, дБ | ±0,26 |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности из-за нелинейности логарифмической шкалы (уровень мощности на входе от -50 до 0 дБ[1)], $f_{пп}=f_{вф}$=1 кГц, пиковый детектор включен, аттенюатор 10 дБ, частота сигнала св. 100 кГц), дБ | ±0,5 |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности из-за переключения аттенюатора относительно опорного значения 20 дБ, дБ | ±0,5 |
| Уровень помех, обусловленных гармоническими искажениями 2-го порядка (диапазон частот св. 50 МГц, уровень мощности на смесителе -20 дБм, ослабление внутреннего аттенюатора 0 дБ, предусилитель выключен), предусилитель выключен), дБ[3)], не менее<br>от 50 МГц до 7 ГГц включ.<br>св. 7 до 13,25 ГГц включ. | <br><br><br><br>-65<br>-62 |
| Относительный уровень помех, обусловленных интермодуляционными искажениями третьего порядка, выраженный в виде точки пересечения 3-го порядка (TOI) ($L_{изм}$) (диапазон частот св. 50 МГц, уровень мощности на смесителе -20 дБ[1)], двутоновый сигнал с разницей частоты 100 кГц, ослабление внутреннего аттенюатора 0 дБ, предусилитель выключен), дБ[2)], не менее<br>от 50 МГц до 3,05 ГГц включ.<br>св. 3,05 до 3,75 ГГц включ.<br>св. 3,75 до 13,25 ГГц включ. | <br><br><br><br><br>+9,5<br>+13<br>+9 |
| Анализатор спектра реального времени (опция) | |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности (центральная частота 50 МГц, пиковый детектор включен, $f_{пп}=f_{вф}$=1 кГц, ослабление входного аттенюатора 20 дБ), дБ<br>- при выключенном предусилителе (входной уровень -20 дБ)<br>- при включенном предусилителе (входной уровень -40 дБ) | <br><br><br><br>±1,0<br>±1,1 |
| Трекинг генератор (опция) | |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности, при несущей частоте 50 МГц, дБ | ±1,0 |
| Неравномерность АЧХ, дБ | ±3 |

Продолжение таблицы А1

| 1 | | 2 | |
|---|---|---|---|
| Векторный анализатор цепей (опция) | | | |
| Динамический диапазон при полосе пропускания 10 кГц, уровень на выходе (Порт 1) 0 дБ[1)], усреднение 50 в диапазоне частот, дБ, не менее | от 100 кГц до 1 МГц включ.<br>св. 1 МГц до 1,5 ГГц включ.<br>св. 1,5 до 3,6 ГГц включ.<br>св. 3,6 до 6,5 ГГц включ.<br>св. 6,5 до 7,5 ГГц включ.<br>св. 7,5 до 14,0 ГГц включ.<br>св. 14,0 до 22,6 ГГц включ.<br>св. 22,6 до 26,5 ГГц включ. | 100<br>100<br>100<br>95<br>95<br>100<br>100<br>90 | |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля/фазы коэффициента отражения S11, дБ/градус | | Модуль | Фаза |
| - в диапазоне частот от 100 кГц до 3,5 ГГц | | ±0,02 | ±1 |
| - в диапазоне частот св. 3,5 до 26,5 ГГц | | ±0,03 | ±1 |
| Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений модуля/фазы коэффициента передачи S21, дБ/градус | | | |
| - в диапазоне частот от 100 кГц до 3,5 ГГц | | ±0,1 | ±1 |
| - в диапазоне частот св. 3,5 до 26,5 ГГц | | ±0,1 | ±1 |
| Среднеквадратическое отклонение значения шумов измерительного тракта при измерении модуля/фазы коэффициентов отражения S11, в диапазоне частот, дБ/градус, не более | | Модуль | Фаза |
| от 100 кГц до 3,5 ГГц включ. | | ±0,02 | ±0,3 |
| св. 3,5 до 7,5 ГГц включ. | | ±0,03 | ±0,5 |
| св. 7,5 до 14,0 ГГц включ. | | ±0,07 | ±0,8 |
| св. 14,0 до 22,6 ГГц включ. | | ±0,15 | ±1,8 |
| св. 22,6 до 26,5 ГГц включ. | | ±0,25 | ±2,4 |
| Среднеквадратическое отклонение значения шумов измерительного тракта при измерении модуля/фазы коэффициентов передачи S21, в диапазоне частот, дБ/градус, не более | | Модуль | Фаза |
| от 100 кГц до 3,5 ГГц включ. | | ±0,15 | ±0,18 |
| св. 3,5 до 7,5 ГГц включ. | | ±0,15 | ±0,4 |
| св. 7,5 до 14,0 ГГц включ. | | ±0,15 | ±0,6 |
| св. 14,0 до 22,6 ГГц включ. | | ±0,15 | ±0,8 |
| св. 22,6 до 26,5 ГГц включ. | | ±0,15 | ±1,0 |
| Примечания:<br>[1)] – дБ относительно 1 мВт;<br>[2)] – дБ относительно уровня несущей;<br>$f$ – частота входного сигнала, Гц;<br>$f_{пп}$ – полоса пропускания, Гц;<br>$f_{вф}$ – частота видеофильтра, Гц;<br>$TOI=(2 \cdot L_{смес}-L_{изм})/2$,<br>где $L_{смес}$ – уровень входного сигнала на смесителе, дБм. | | | |