

СОГЛАСОВАНО

Главный метролог

АО «ПриСТ»

А.Н. Новиков



«13» декабря 2024 г.

**«ГСИ. АНАЛИЗАТОРЫ СПЕКТРА АКИП-4211/3.
МЕТОДИКА ПОВЕРКИ»**

МП-ПР-42-2024

Москва
2024

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая методика распространяется на анализаторы спектра АКИП-4211/3 (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.

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 относительной погрешности частоты опорного генератора	Да	Да	9.1
6. Определение погрешности измерения частоты маркером	Да	Да	9.2
7. Определение относительной погрешности установки полос пропускания фильтров промежуточной частоты (ПЧ) и фильтров электромагнитной совместимости (ЭМС)	Да	Да	9.3
8. Определение абсолютной погрешности измерения опорного уровня на частоте 50 МГц	Да	Да	9.4
9. Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ)	Да	Да	9.5
10. Определение абсолютной погрешности из-за нелинейности логарифмической шкалы	Да	Да	9.6
11. Определение абсолютной погрешности измерений уровня сигнала из-за переключения входного аттенюатора (относительно 20 дБ)	Да	Да	9.7
12. Определение погрешности измерения уровня сигнала при изменении полосы пропускания	Да	Да	9.8

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
13. Определение уровня гармонических искажений 2-го порядка	Да	Да	9.9
14. Определение уровня фазовых шумов	Да	Да	9.10
15. Определение уровня интермодуляционных искажений 3-го порядка	Да	Да	9.11
16. Определение среднего уровня собственных шумов	Да	Да	9.12
17. Определение абсолютной погрешности установки опорного уровня следящего генератора на частоте 50 МГц	Да	Да	9.13
18. Определение неравномерности АЧХ следящего генератора	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 90 %;
- 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
7.1	Средства измерений температуры окружающей среды от +10 до +30 °С с абсолютной погрешностью не более ± 1 °С; Средства измерений относительной влажности окружающего воздуха от 30 до 80 % с абсолютной погрешностью не более ± 3 %	Термогигрометр Fluke 1620A (рег. № 36331-07)	
	Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 86 до 106,7 кПа с абсолютной погрешностью не более ± 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 не более 2 %. Средства измерений частоты от 45 до 60 Гц. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений частоты не более 1 %.	Прибор измерительный универсальный параметров электрической сети DMG 800 (рег. № 49072-12)	
9.1 – 9.14	Пределы допускаемой относительной погрешности воспроизведения частоты $\pm 5 \cdot 10^{-11}$.	Стандарт частоты рубидиевый FS 725 (рег. № 31222-06)	

Продолжение таблицы 2

09/569

1	2	3
9.1	Эталоны единицы измерений времени и частоты и средства измерений, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 5 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений времени и частоты, утвержденной приказом Росстандарта № 2360 от 26.09.2022, в диапазоне значений частоты от 10 Гц до 1 ГГц.	Частотомер универсальный CNT-90XL (рег. № 70888-18)
9.2 – 9.11	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 $\pm 0,05$ дБ; пределы допускаемой абсолютной погрешности установки уровня выходного сигнала в диапазоне частот от 100 кГц до 4 ГГц не более $\pm 0,3$ дБ; диапазон установки ослабления от 0 до 116 дБ; пределы допускаемой абсолютной погрешности установки ослабления в диапазоне от 0 до 64 дБ не более $\pm 0,03$ дБ; уровень гармонических составляющих в выходном сигнале не более -70 дБ.	Калибратор многофункциональный Fluke 9640A-LPNX (рег. № 55872-13)
9.5, 9.13 – 9.14	Эталоны единицы мощности электромагнитных колебаний и средства измерений, соответствующие требованиям к рабочим эталонам не ниже 3 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений мощности электромагнитных колебаний, утвержденной приказом Росстандарта № 3461 от 30.12.2019 в диапазоне частот от 100 кГц до 7,5 ГГц.	Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ NRP-18A (рег. № 64926-16)
9.11	Диапазон частот выходного сигнала от 250 кГц до 3 ГГц; пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты $\pm 2,1 \cdot 10^{-6}$.	Генератор сигналов Agilent N5182A (рег. № 37154-08)
9.2, 9.5	Диапазон частот выходного сигнала от 250 кГц до 67 ГГц пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты $\pm 7,5 \cdot 10^{-8}$.	Генератор сигналов E8257D (рег. № 53941-13)
Вспомогательное оборудование		
	Диапазон частот от 0 до 18 ГГц, максимальная мощность 0,5 Вт;	Делитель мощности Keysight 11667A
	Диапазон частот от 0 до 18 ГГц Ослабление: 10 дБ	Аттенюаторы Huber+Suhner 6810.17.B
Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа, поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.		

5. ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ 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

6.1 Перед поверкой должен быть проведен внешний осмотр, при котором должно быть

установлено соответствие поверяемого прибора следующим требованиям:

- 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.

6.2 При наличии дефектов поверяемый прибор бракуется и подлежит ремонту.

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 СИ бракуется и направляется в ремонт.

8. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Проверка программного обеспечения анализаторов осуществляется путем вывода на дисплей прибора информации о версии программного обеспечения.

8.2 Войти в меню «System» => «System Info» анализатора.

Результат проверки считается положительным, если версия программного обеспечения в строке «Firmware Version» не ниже 1.0.0.0

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

Допускается периодическая поверка анализатора, в случае его использования для измерений меньшего числа величин или на меньшем числе диапазонов измерений по отношению к указанным в разделе «Метрологические и технические характеристики» описания типа.

9.1 Определение относительной погрешности частоты опорного генератора

9.1.1 Определение относительной погрешности частоты опорного генератора проводить методом прямых измерений с помощью частотометра универсального CNT-90XL, работающего от внешней опорной частоты 10 МГц со стандарта частоты рубидиевого FS725.

9.1.2 Выполнить соединение средств измерений в соответствии со схемой, приведённой на рисунке 1.

9.1.3 Измерить частоту опорного генератора ($F_{\text{ном}}=10 \text{ МГц}$) анализатора спектра, зафиксировать результаты измерений частотометром $F_{\text{изм}}$.

9.1.4 Относительную погрешность определять по формуле (1):

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

где $F_{\text{ном}}$ – установленное значение частоты, Гц;

$F_{\text{изм}}$ – измеренное значение частоты, Гц.

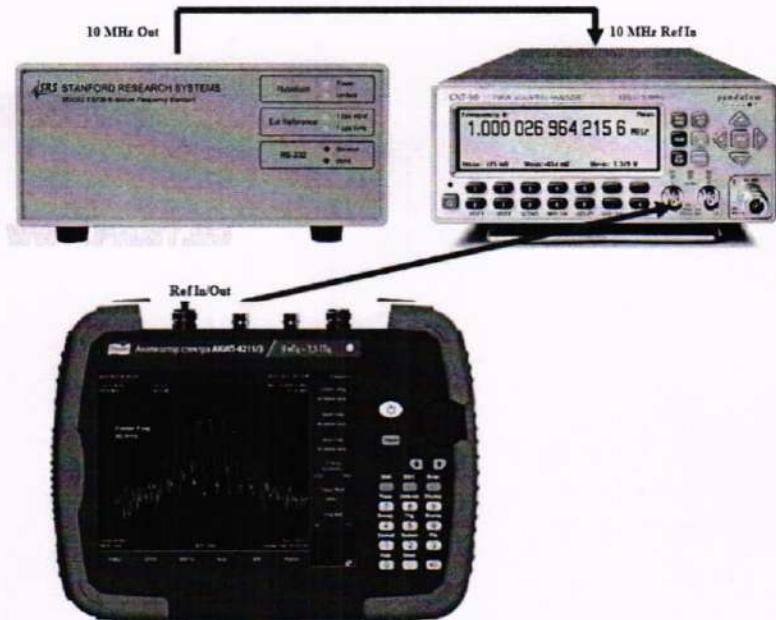


Рисунок 1 – Схема соединения приборов для определения относительной погрешности частоты опорного генератора

Результаты операции поверки считать положительными, если относительная погрешность частоты опорного генератора не превышает $\pm 5 \cdot 10^{-6}$.

9.2 Определение относительной погрешности измерения частоты маркером

Определение относительной погрешности измерения частоты маркером проводить методом прямых измерений с помощью калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX (далее – калибратор) и (или) с помощью генератора сигналов E8257D, в зависимости частоты сигнала.

9.2.1 Выполнить соединение средств измерений в соответствии со схемой, приведённой на рисунке 2.

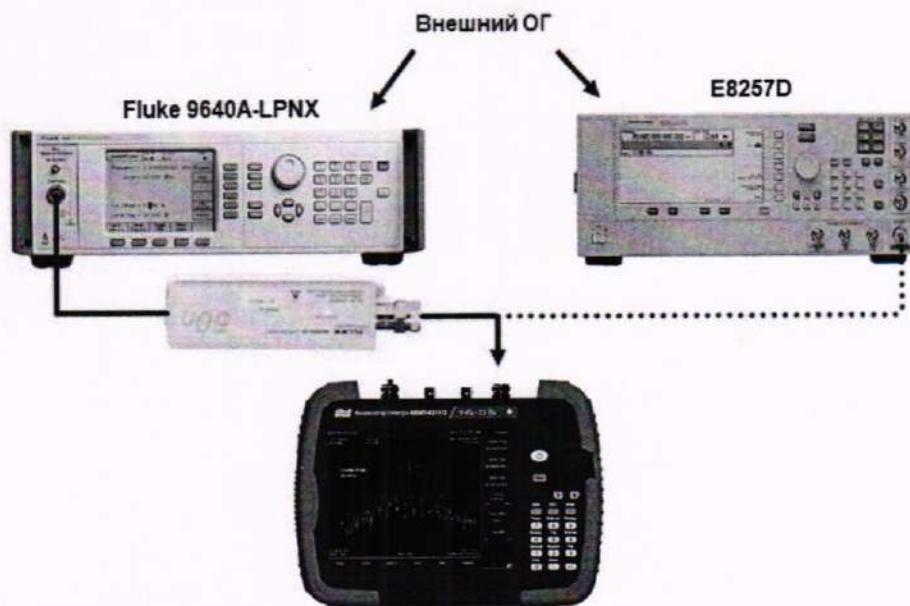


Рисунок 2 – Схема соединения приборов для определения относительной погрешности измерения частоты маркером

9.2.2 Установить следующие параметры анализатора спектра:

- центральную частоту устанавливать в соответствии с таблицей 3;
- полоса обзора: 100 кГц;
- полоса пропускания: 3 кГц;
- опорный уровень: 1 дБм.

Таблица 3

Частота сигнала, установленная на калибраторе	Частота, измеренная маркером
100,0000000 кГц	
1,0000000 МГц	
10,0000000 МГц	
100,0000000 МГц	
160,0000000 МГц	
1,0000000 ГГц	
2,0000000 ГГц	
3,0000000 ГГц	
3,6000000 ГГц	
7,5000000 ГГц	

9.2.3 Частоту сигнала устанавливать в соответствии с таблицей 4, уровень выходного сигнала 0 дБм.

9.2.4 В анализаторе войти в меню «Маркер», включить маркер 1 и установить маркер на пик несущей, используя функцию «Поиск макс». Измерить частоту сигнала и записать измеренное значение в таблицу 4.

9.2.5 Рассчитать абсолютную погрешность измерения частоты по формуле (2):

$$\delta f = \frac{F_{\text{ном}} - F_{\text{изм}}}{F_{\text{изм}}} \quad (2)$$

где $F_{\text{ном}}$ – установленное значение частоты, Гц;

$F_{\text{изм}}$ – измеренное значение частоты, Гц.

Результаты операции поверки считать положительными, если относительная погрешность измерения частоты маркером не превышает $\pm 5 \cdot 10^{-6}$.

9.3 Определение относительной погрешности установки полос пропускания фильтров промежуточной частоты (ПЧ) и фильтров электромагнитной совместимости (ЭМС)

Определение относительной погрешности установки полос пропускания фильтров промежуточной частоты (ПЧ) и фильтров электромагнитной совместимости (ЭМС) проводить методом прямых измерений с помощью калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX.

9.3.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 3. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора.

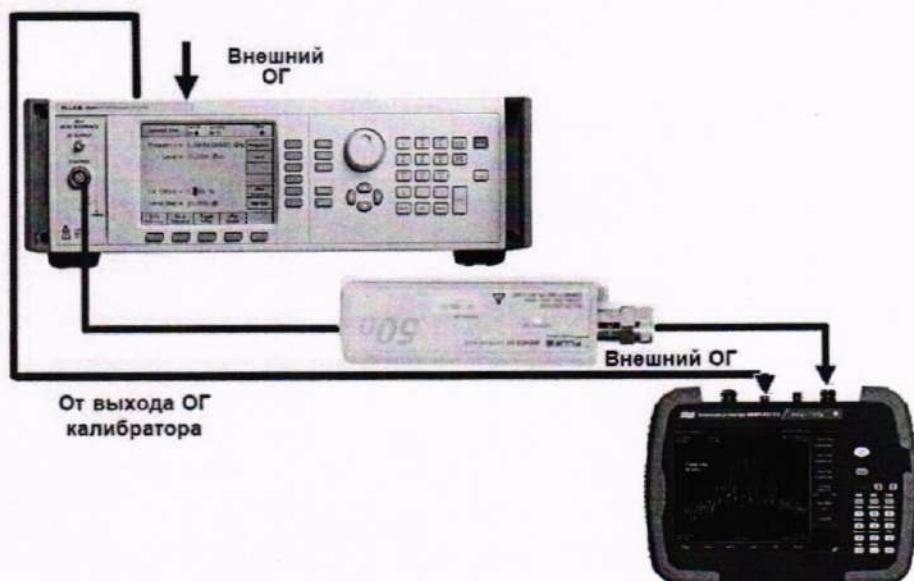


Рисунок 3 – Схема соединения приборов для определения относительной погрешности установки полос пропускания

9.3.2 Установить на выходе калибратора сигнал с частотой 50 МГц и уровнем -30 дБм.

9.3.3 Установить на поверяемом анализаторе следующие параметры:

- центральная частота 50 МГц

- полоса пропускания: 1 МГц, далее значения устанавливать из таблицы 4

- полоса обзора: 1,5 x (полоса пропускания); (для полос пропускания 1 Гц - 30 Гц установить полосу обзора 100 Гц)

- опорный уровень: -30 дБм

9.3.4 В меню анализатора «Маркер Fn» включить измерение по уровню (N дБ ПП) и установить уровень -3 дБ. Результат измерения записать в таблицу 4. Повторить измерения для других значений полос пропускания, устанавливая их в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4

Установленная полоса пропускания	Измеренная полоса пропускания
10 Гц	
30 Гц	
100 Гц	
300 Гц	
1 кГц	
3 кГц	
10 кГц	
30 кГц	
100 кГц	
300 кГц	
1 МГц	
Фильтры ЭМС	
200 Гц	
9 кГц	
120 кГц	
1 МГц	

9.3.5 Полосы пропускания 200 Гц, 9 кГц 120 кГц и 1 МГц устанавливаются в полосе пропускания после включения в меню «ПП» функции «Фильтр ЭМС». Установить по очереди эти фильтры и произвести для каждого из них измерение полосы пропускания. Измерения проводить по методике, описанной в п. 9.3.4 за исключением того, что перед началом измерений установить уровень -6 дБ в меню измерений анализатора.

9.3.6 Рассчитать погрешность установки полосы пропускания по формуле (3):

$$\delta RBW = \frac{RBW_{\text{уст}} - RBW_{\text{изм}}}{RBW_{\text{уст}}} \cdot 100\% \quad (3)$$

где $RBW_{\text{уст}}$ – установленное значение полосы пропускания, Гц;

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

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

- для $RBW_{\text{уст}}$ от 10 Гц до 300 Гц включ. $\pm(0,05 \cdot RBW_{\text{уст}} + 1)$ Гц;

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

9.4 Определение абсолютной погрешности измерения опорного уровня на частоте 50 МГц

Определение абсолютной погрешности измерения опорного уровня на частоте 50 МГц проводить методом прямых измерений с помощью калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX.

9.4.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 3.

9.4.2 В настройках калибратора включить выход опорной частоты. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора. В качестве синхронизации по частоте допускается использовать синхронизацию от внешнего стандарта частоты.

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

9.4.4 Установить на поверяемом анализаторе следующие параметры:

- центральная частота 50 МГц;
- полоса обзора 10 кГц;
- полоса пропускания 1 кГц;
- полоса видеофильтра 1 кГц;
- опорный уровень: -18 дБм;
- аттенюатор 20 дБ.

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

9.4.6 Установить на калибраторе уровень сигнала -40 дБм

9.4.7 На анализаторе спектра установить опорный уровень -38 дБм, включить предусилитель и повторить измерения по п. 9.4.5.

9.4.8 Вычислить погрешность измерения уровня по формуле (4):

$$\Delta P = P_{\text{изм}} - P_{\text{кал}} \quad (4)$$

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

$P_{\text{кал}}$ – установленный уровень сигнала на калибраторе.

Результаты операции поверки считать положительными, если значения погрешности, вычисленные по формуле (4) не превышают допускаемых значений, приведенных в таблице 5:

Таблица 5

Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности, дБм	
- при выключенном предусилителе и уровне мощности на входе -20 дБм	$\pm 0,4$
- при включенном предусилителе и уровне мощности на входе -40 дБм	$\pm 0,5$

9.5 Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ)

Определение неравномерности амплитудно-частотной характеристики проводить методом прямых измерений с помощью калибратора Fluke 9640A-LPNX и (или) с помощью генератора E8257D, в зависимости от частоты сигнала.

9.5.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 4.

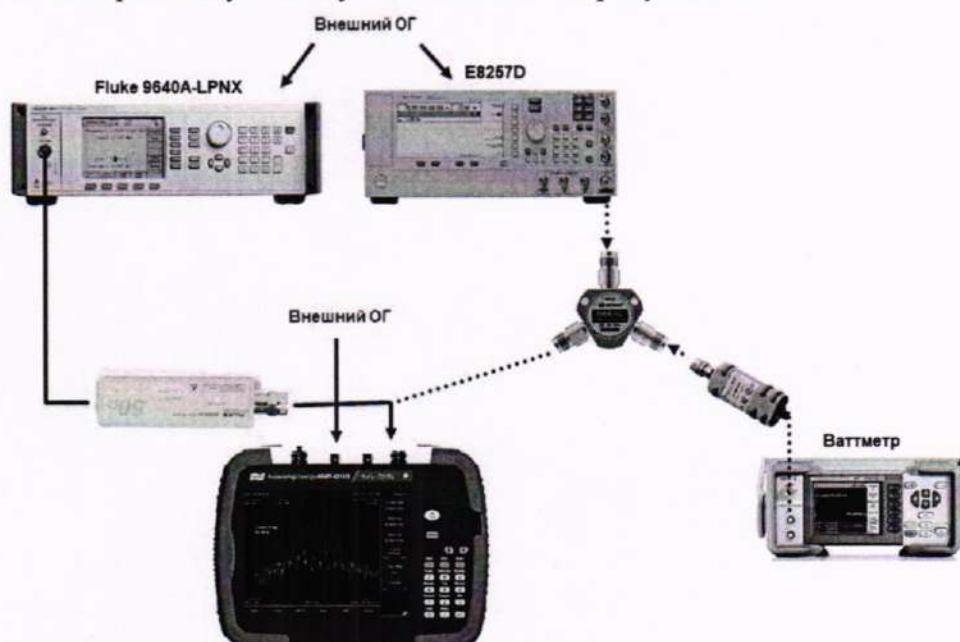


Рисунок 4 – Схема соединения приборов для определения неравномерности амплитудно-частотной характеристики

9.5.2 Установить на выходе генератора сигнал с частотой 50 МГц и уровнем -20 дБм.

9.5.3 Установить на поверяемом анализаторе следующие параметры:

- центральная частота 50 МГц;
- полоса обзора 10 кГц;
- полоса пропускания 1 кГц;
- опорный уровень: -18 дБм;
- аттенюатор 20 дБ;
- предусилитель выключен.

9.5.4 Измерить при помощи маркера уровень сигнала на опорной частоте 50 МГц. Записать измеренное значение уровня в таблицу 6.

9.5.5 Последовательно устанавливая значение частот на генераторе из таблицы 6, произвести измерение уровня анализатором при помощи маркера, устанавливая соответствующую центральную частоту. Записать результаты измерений в таблицу 6.

9.5.6 Установить уровень сигнала -40 дБм.

9.5.7 На анализаторе спектра установить опорный уровень -38 дБм, включить предусилитель и повторить измерения по п. п. 9.5.4 - 9.5.5 с включенным предусилителем. Записать результаты измерений в таблицу 6.

Таблица 6

Частота сигнала, установленная на генераторе	Измеренное значение уровня $P_{изм}$, дБм	
	С выключенным предусилителем	С включенным предусилителем
50 МГц (опорная)	$P_{оп} =$	$P_{оп} =$
100 кГц		
300 кГц		
600 кГц		
500 МГц		
900 МГц		
1 ГГц		
2 ГГц		
3 ГГц		
4 ГГц		
5 ГГц		
6 ГГц		
7 ГГц		
7,5 ГГц		

9.5.8 Вычислить значение неравномерности АЧХ анализатора по формуле (5):

$$\Delta ACH = P_{оп} - P_{изм} \quad (5)$$

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

$P_{изм}$ – значение уровня, измеренное на частотах из таблицы 6.

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

±0,8 дБм с выключенным предусилителем;

±0,9 дБм с включенным предусилителем.

9.6 Определение абсолютной погрешности из-за нелинейности логарифмической шкалы

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

9.6.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 3. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора.

9.6.2 Установить на выходе калибратора сигнал с частотой 50 МГц и уровнем 0 дБм.

9.6.3 Установить на поверяемом анализаторе следующие параметры:

- центральная частота 50 МГц;
- полоса обзора 10 кГц;
- полоса пропускания 1 кГц;
- полоса видеофильтра 1 кГц;
- опорный уровень: 0 дБм;
- аттенюатор: Авто;
- усреднение: Включено, 50.

9.6.4 Дождаться окончания усреднения спектограммы и измерить анализатором уровень при помощи маркера. Записать измеренное значение в таблицу 7 в качестве опорного значения.

9.6.5 Установить на калибраторе уровень мощности согласно таблице 8 и после окончания усреднения спектограммы измерить амплитуду маркером. Измеренные значения $P_{изм}$ записать в таблицу 7.

Таблица 7

Уровень мощности, задаваемый калибратором P_k , дБм	Измеренное значение уровня анализатором $P_{изм}$, дБм
0	$P_0 =$
-10	
-20	
-30	
-40	
-50	

9.6.6 Абсолютную погрешность измерений уровня из-за нелинейности шкалы определить по формуле (6):

$$\Delta P_h = P_{изм} - P_{кал} - P_0 \quad (6)$$

где P_0 – значение уровня сигнала, измеренное при ослаблении 0 дБм;

$P_{изм}$ – измеренное значение уровня анализатором, дБм;

$P_{кал}$ – уровень мощности, задаваемый калибратором, дБм.

Результаты операции поверки считать положительными, если полученные значения погрешности не превышают допускаемых пределов $\pm 0,5$ дБм.

9.7 Определение абсолютной погрешности измерений уровня сигнала из-за переключения входного аттенюатора (относительно 20 дБ)

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

9.7.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 3.

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

9.7.3 Установить на поверяемом анализаторе следующие параметры:

- центральная частота 50 МГц;
- полоса обзора 10 кГц;
- полоса пропускания 1 кГц;
- полоса видеофильтра 1 кГц;
- аттенюатор 20 дБ;
- опорный уровень: -30 дБм;
- усреднение: Включено, 50.

9.7.4 С помощью меню «Поиск макс» измеряют амплитуду сигнала. Записывают измеренное значение в таблицу как $P_{оп}$. Далее установить настройки согласно таблице 8 и после окончания усреднения спектограммы – измерить амплитуду маркером. Измеренные значения $P_{изм}$ записать в таблицу 8.

Таблица 8

Ослабление внутреннего аттенюатора анализатора A , дБм	Опорный уровень, дБм	Уровень мощности, задаваемый калибратором P_k , дБм	Измеренное значение уровня $P_{изм}$, дБм
10	-30	-40	
0	-40	-50	
5	-35	-45	
15	-25	-35	
20 ($A_{оп}$)	-30	-40	$P_{оп}=$
25	-15	-25	
30	-10	-20	
35	-5	-15	
40	0	-10	
45	5	-5	
50	10	0	

9.7.5 Погрешность измерений уровня сигнала из-за переключения входного аттенюатора определить по формуле (7):

$$\Delta A = (P_{оп} - P_{изм}) - (A_{оп} - A) \quad (7)$$

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

$P_{изм}$ – значение уровня сигнала, измеренное анализатором при заданных из таблицы 8 параметрах;

$A_{оп}$ – значение ослабления 20 дБ, задаваемое внутренним аттенюатором анализатора.

Результаты операции поверки считать положительными, если вычисленные по формуле (7) значения погрешностей не превышают допускаемых пределов: $\pm 0,15$ дБ.

9.8 Определение погрешности измерения уровня сигнала при изменении полосы пропускания

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

9.8.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 3. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора.

9.8.2 Установить на выходе калибратора сигнал с частотой 50 МГц и уровнем 0 дБм. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора.

9.8.3 Установить на поверяемом анализаторе следующие параметры:

- центральная частота 50 МГц;
- полоса пропускания 1 кГц;
- полоса обзора 5 кГц;
- аттенюатор 10 дБ;
- опорный уровень: 0 дБм;
- усреднение: Включено, 20.

9.8.4 Измерить уровень сигнала при полосе пропускания 1 кГц и записать в таблицу 9, как опорное значение. На анализаторе последовательно устанавливать полосы пропускания из таблицы 9, изменяя 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 9.

Таблица 9

Значение полосы пропускания анализатора	Полоса обзора	Измеренное значение уровня, $P_{изм}$, дБм
10 Гц	100 Гц	
30 Гц	150 Гц	
100 Гц	500 Гц	
300 Гц	1,5 кГц	
1 кГц (опорная)	5 кГц	0 (опорный уровень $P_{оп}$)
3 кГц	15 кГц	
30 кГц	150 кГц	
100 кГц	500 кГц	
300 кГц	1,5 МГц	
1 МГц	5 МГц	

9.8.5 Рассчитать отклонение амплитуды по формуле (8):

$$\Delta A = P_{изм} - P_{оп} \quad (8)$$

где $P_{опорное}$ – значение уровня сигнала, измеренное при полосе пропускания 1 кГц;

$P_{изм}$ – значение уровня сигнала, измеренное анализатором.

Результаты операции поверки считать положительными, если вычисленные по формуле (8) значения погрешностей не превышают допускаемых пределов: $\pm 0,15$ дБм.

9.9 Определение уровня гармонических искажений 2-го порядка

Определение уровня гармонических искажений 2-го порядка проводить методом прямых измерений с помощью калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX.

9.9.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 3.

9.9.2 Установить на выходе калибратора сигнал с частотой 450 МГц и уровнем -30 дБм.

9.9.3 Установить на поверяемом анализаторе следующие параметры:

- центральная частота: 450 МГц;
- полоса обзора: 500 Гц;
- опорный уровень: -30 дБм;
- усреднение: Включено, 20.

9.9.4 Дождаться окончания усреднения спектрограммы. С помощью меню «Поиск макс» 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} .

9.9.5 Уровень гармонических искажений определить по формуле (9).

$$dBc = P_{2f1} - P_{f1} \quad (9)$$

где P_{2f1} – уровень второй гармоники;

P_{f1} – уровень основной гармоники.

9.9.6 Повторить измерения на частоте сигнала 1000 МГц.

Результаты операции поверки считать положительными, если уровень второй гармоники относительно уровня несущей не превышает -65 dBc.

9.10 Определение уровня фазовых шумов

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

9.10.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 3. Анализатор спектра перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты с калибратора.

9.10.2 Установить на выходе генератора сигнал с частотой 1 ГГц и уровнем 0 дБм, генератор перевести в режим работы по внешнему сигналу опорной частоты.

9.10.3 Установить на поверяемом анализаторе следующие параметры:

- центральная частота: 1000 МГц

- полоса обзора: 40 кГц
- полоса пропускания: 1 кГц
- опорный уровень: 1 дБм
- усреднение: Включено, 100

9.10.4 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 $\Delta Mkr1$ (дБ). Привести данный уровень к полосе 1 Гц, рассчитав значение $P_{\text{ФШ}}$ по формуле (10):

$$P_{\text{ФШ}} = \Delta Mkr1 - 10 \lg(\text{полоса пропускания}/1 \text{ Гц}), \text{дБ}/\text{Гц} \quad (10)$$

9.10.5 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 отстройки 10 кГц: -80 дБн/Гц;
- для отстройки 100 кГц: -100 дБн/Гц;
- для отстройки 1 МГц: -107 дБн/Гц.

9.11 Определение уровня интермодуляционных искажений 3-го порядка

Определение уровня интермодуляционных искажений 3-го порядка проводить методом прямых измерений с помощью калибратора многофункционального Fluke 9640A-LPNX и генератора сигналов N5182A.

9.11.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 5. В качестве генератора 1 использовать калибратор многофункциональный Fluke 9640A-LPNX. В качестве генератора 2 использовать генератор сигналов N5182A. В качестве сигнала опорной частоты использовать выход ОГ калибратор многофункциональный Fluke 9640A-LPNX. Сигнал с выхода внутренней опорной частоты калибратор многофункциональный Fluke 9640A-LPNX подключить на вход внешней опорной частоты генератор сигналов N5182A и поверяемого анализатора спектра.

9.11.2 На генераторе 1 установить частоту 499,95 МГц, уровень -4 дБм; на генераторе 2 установить частоту 500,05 МГц, уровень -4 дБм.

9.11.3 Установить на поверяемом анализаторе следующие параметры:

- центральная частота: 500 МГц;
- полоса обзора: 400 кГц;
- опорный уровень: -20 дБм;
- усреднение: Включено, 20.

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

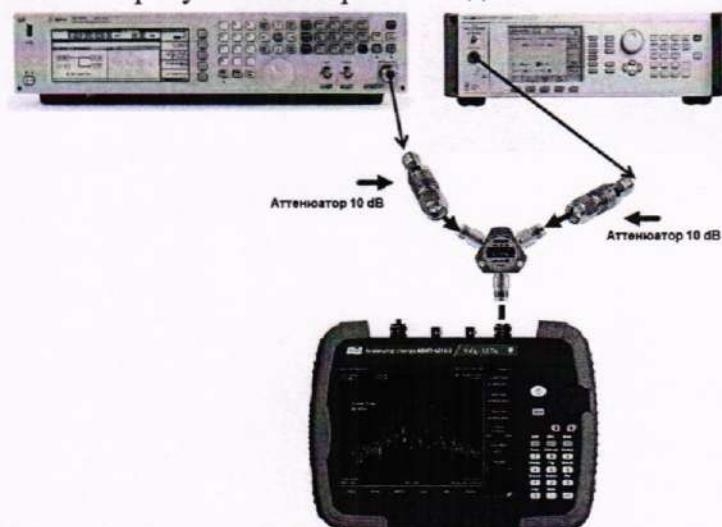


Рисунок 5 - Схема соединения приборов для определения уровня интермодуляционных искажений 3-го порядка

9.11.5 Дождаться окончания усреднения спектrogramмы и измерить уровни с помощью маркера на частотах интермодуляции (центральную частоту на анализаторе устанавливать равной частоте измеряемого сигнала):

Частота нижнего бокового тона: $2f_1 - f_2$,

Частота верхнего бокового тона: $2f_2 - f_1$,

где f_1 – частота сигнала с генератора 1, f_2 – частота сигнала с генератора 2.

9.11.6 Рассчитать точку пересечения третьего порядка (TOI) по формулам (11) и (12):

$$TOI = P(f_1) + \frac{(P(f_2) - P(2f_1 - f_2))}{2} \quad (11)$$

$$TOI = P(f_2) + \frac{(P(f_1) - P(2f_2 - f_1))}{2} \quad (12)$$

где $P(f_1)$ – измеренный уровень сигнала на частоте сигнала с генератора 1,

$P(f_2)$ – измеренный уровень сигнала на частоте сигнала с генератора 2,

$P(2f_1 - f_2)$ - измеренный уровень сигнала на частоте интермодуляции $2f_1 - f_2$ (нижний боковой тон),

$P(2f_2 - f_1)$ - измеренный уровень сигнала на частоте интермодуляции $2f_2 - f_1$ (верхний боковой тон).

Результаты операции поверки считать положительными, если значения точки пересечения третьего порядка (TOI), вычисленные по формулам (11) и (12) не менее 0 дБ.

9.12 Определение среднего уровня собственных шумов

Определение среднего уровня собственных шумов выполняется методом прямых измерений.

9.12.1 На вход анализатора спектра подключить согласованную нагрузку 50 Ом.

9.12.2 Установить на поверяемом анализаторе следующие параметры:

- предусилитель: Выкл;
- опорный уровень: -100 дБм;
- аттенюатор: 0 дБ;
- усреднение: Включено, 50.

9.12.3 В качестве начальной и конечной частот поочередно устанавливать значения из таблицы 11. Дождаться окончания усреднения спектrogramмы.

9.12.4 Установить на анализаторе полосу пропускания 10 кГц и найти частоту с максимальным шумом.

9.12.5 Установить в качестве центральной частоты частоту измеренного максимального уровня. Данную операцию выполнить при помощи функции маркера «Маркер→Центр». Далее – выполнить следующие настройки на анализаторе:

- полоса пропускания: 10 Гц
- полоса обзора 1 кГц
- усреднение: Включено, 50

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

9.12.7 Рассчитать средний уровень собственных шумов по формуле (13):

$$P_N = (P_{max} - P_{min})/2 \quad (13)$$

где P_{max} – измеренное значение максимального уровня шума, дБм;

P_{min} – измеренное значение минимального уровня шума, дБм.

9.12.8 Повторить измерения для остальных диапазонов частот, указанных в таблице 10.

Таблица 10

Начальная частота	Конечная частота	Измеренный средний уровень собственных шумов	
		с выключенным предуслителем	с включенным предуслителем
100 кГц	1 МГц		-
1 МГц	1 ГГц		
1 ГГц	3,6 ГГц		
3,6 ГГц	5 ГГц		
5 ГГц	6 ГГц		
6 ГГц	7 ГГц		
7 ГГц	7,5 ГГц		

9.12.9 Повторить измерения по пунктам 9.12.2 – 9.12.8, включив встроенный предуслитель.

Результаты операции поверки считать положительными, если средний уровень собственных шумов анализатора, не превышает значений, приведенных в таблице 11.

Таблица 11

Средний уровень собственных шумов, дБм, не более	Диапазон частот	С выключенным/включенным предуслителем:	
		- от 100 кГц до 1 МГц	-110/-
	- св. 1 МГц до 1 ГГц	-130/-150	
	- св. 1 ГГц до 7,5 ГГц	-128/-148	

9.13 Определение абсолютной погрешности установки опорного уровня следящего генератора на частоте 50 МГц

Определение абсолютной погрешности установки опорного уровня следящего генератора на частоте 50 МГц проводить методом прямых измерений с помощью ваттметра поглощаемой мощности СВЧ NRP18A.

9.13.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 6.



Рисунок 6 – Схема соединения приборов для определения абсолютной погрешности установки опорного уровня следящего генератора

9.13.2 Задать на выходе следящего генератора уровень выходного сигнала 0 дБм и установить частоту сигнала 50 МГц и установить нулевую полосу обзора. Установки выполнить в соответствии с руководством по эксплуатации.

9.13.3 Измерить уровень сигнала ваттметром и записать, как $P_{опор.}$

9.13.4 Вычислить значение абсолютной погрешности установки уровня $\Delta P_{\text{оп}}$ по формуле (14):

$$\Delta P_{\text{оп}} = P_{\text{уст}} - P_{\text{оп}} \quad (14)$$

где $P_{\text{уст}}$ – значение уровня на выходе следящего генератора, дБм;

$P_{\text{оп}}$ – значение уровня, измеренное ваттметром на частоте 50 МГц, дБм.

9.13.5 Повторить измерения по пунктам 9.13.3 – 9.13.4 устанавливая уровень следящего генератора -10 дБм, -20 дБм, -30 дБм и -40 дБм.

Результаты измерений уровня сигнала на выходе следящего генератора считать положительными, если значение абсолютной погрешности, вычисленное по формуле (14) не превышает допускаемых пределов: ± 2 дБ.

9.14 Определение неравномерности АЧХ следящего генератора

Определение неравномерности АЧХ следящего генератора проводить методом прямых измерений с помощью ваттметра поглощаемой мощности СВЧ NRP18A.

9.14.1 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 6.

9.14.2 Для определения неравномерности АЧХ провести измерение уровня сигнала с помощью ваттметра на частотах, указанных в таблице 12 при нулевой полосе обзора. Измеренные значения уровня мощности P_f записать в таблицу 12.

Таблица 12

Частота сигнала, установленная на следящем генераторе, МГц	Значения уровня выходной мощности, установленные на выходе следящего генератора, дБм	Измеренные ваттметром значения уровня мощности P_f , дБм
0,1	0	
0,150	0	
0,2	0	
0,250	0	
1	0	
10	0	
50	0	$P_{\text{оп}} =$
200	0	
500	0	
800	0	
1000	0	
1300	0	
1600	0	
1900	0	
2100	0	
2200	0	
2500	0	
2800	0	
3000	0	
3600	0	
4000	0	
5000	0	
6000	0	
7000	0	
7500	0	

9.14.3 Вычислить значение неравномерности АЧХ по формуле (15):

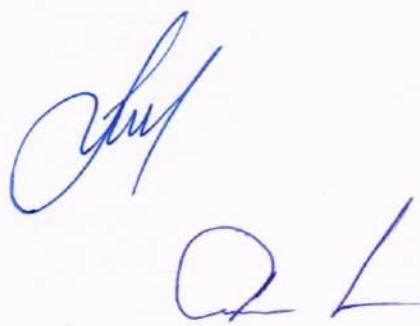
$$\Delta \text{АЧХ} = P_f - P_{\text{оп}} \quad (15)$$

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

Результаты измерений неравномерности АЧХ считать положительными, если полученные по формуле (15) значения не превышают допускаемых пределов: ± 4 дБ.

Начальник отдела испытаний
АО «ПриСТ»

Ведущий инженер по метрологии
отдела испытаний АО «ПриСТ»



О. В. Котельник



Е. Е. Смердов

Приложение А

Таблица А1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
1	2
Пределы допускаемой относительной погрешности частоты опорного генератора δ_0	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений частоты маркером	$\pm 5 \cdot 10^{-6}$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности полос пропускания фильтров ПЧ по уровню -3 дБ и фильтров ЭМС по уровню -6 дБ, Гц - для $F_{\text{пч}}$ от 10 до 300 Гц включ. - для $F_{\text{пч}}$ св. 300 Гц	$\pm(0,05 \cdot F_{\text{пч}} + 1)$ $\pm 0,05 \cdot F_{\text{пч}}$
Средний уровень собственных шумов (для модификаций, с выключенным/включенным предусилителем), дБм, не более от 100 кГц до 1 МГц включ. св. 1 МГц до 1 ГГц включ. св. 1 ГГц до 7,5 ГГц Нормируется при следующих условиях: Аттенюатор 0 дБ, $F_{\text{пч}}=F_{\text{вф}}=10$ Гц, полоса обзора 1 кГц, опорный уровень -100 дБм, усреднение >50	-110/- -130/-150 -128/-148
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности, дБ - при выключенном предусилителе и уровне мощности на входе -20 дБм; - при включенном предусилителе и уровне мощности на входе -40 дБм Нормируется при следующих условиях: центральная частота 50 МГц, $F_{\text{пч}}=F_{\text{вф}}=1$ кГц, полоса обзора 10 кГц, ослабление входного аттенюатора 20 дБ, опорный уровень -18 дБм.	$\pm 0,4$ $\pm 0,5$
Неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) относительно уровня сигнала на частоте 50 МГц, дБ, не более - с выключенным предусилителем - с включенным предусилителем Нормируется при следующих условиях: центральная частота 50 МГц, $F_{\text{пч}}=F_{\text{вф}}=1$ кГц, полоса обзора 10 кГц, внутренний аттенюатор 20 дБ, опорный уровень -18 дБм.	$\pm 0,8$ $\pm 0,9$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности из-за нелинейности логарифмической шкалы, дБ Нормируется при следующих условиях: центральная частота 50 МГц, уровень мощности на входе от -50 до 0 дБм, $F_{\text{пч}}=F_{\text{вф}}=1$ кГц, полоса обзора 10 кГц, опорный уровень 0 дБм, аттенюатор Авто, предусилитель выключен, усреднение более 50.	$\pm 0,5$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровня мощности из-за переключения аттенюатора относительно опорного значения 20 дБ, дБ Нормируется при следующих условиях: центральная частота 50 МГц, $F_{\text{пч}}=F_{\text{вф}}=1$ кГц, полоса обзора 10 кГц, предусилитель выключен, внутренний аттенюатор 20 дБ, опорный уровень -30 дБм, усреднение более 50.	$\pm 0,15$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности уровня сигнала при изменении полосы пропускания, дБ Нормируется при следующих условиях: центральная частота 50 МГц, полоса обзора 5 кГц, предусилитель выключен, внутренний аттенюатор 10 дБ, опорный уровень 0 дБм, усреднение более 20.	$\pm 0,15$
Относительный уровень гармонических искажений 2-го порядка, дБн, не более Нормируется относительно уровня несущей при уровне сигнала на смесителе -30 дБм, в полосе от 50 МГц до собственной полосы пропускания, при ослаблении 0 дБ, и выключенном предусилителе	-65

Продолжение таблицы А1

1	2
Интермодуляционные искажения третьего порядка $L_{изм}$, выраженные в виде точки пересечения 3-го порядка (TOI), дБм, не менее Нормируется в диапазоне частот выше 50 МГц, при уровне сигналов на смесителе -4 дБм, при ослаблении внутреннего аттенюатора 0 дБ и выключенном предусилителе	0
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки опорного уровня на частоте 50 МГц, дБ	± 2
Неравномерность АЧХ следящего генератора относительно уровня сигнала на частоте 50 МГц, дБ	± 4