

СОГЛАСОВАНО
Главный метролог
АО «ПриСТ»




А. Н. Новиков
«13» августа 2025 г.

«ГСИ. Генераторы сигналов векторные АКИП-3216/1.
Методика поверки»

МП-ПР-32-2025

Москва
2025

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Настоящая методика распространяется на генераторы сигналов векторные АКИП-3216/1 (далее по тексту – генераторы) и устанавливает методы и средства их поверки.

При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость поверяемых генераторов к государственным первичным эталонам единиц величин:

- к ГЭТ 1-2022. «ГПЭ единиц времени, частоты и национальной шкалы времени» в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 сентября 2022 года № 2360;

- к ГЭТ 26-2010. «ГПЭ единицы мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах в диапазоне частот от 0,03 до 37,5 ГГц» в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 9 кГц до 37,5 ГГц, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 декабря 2019 года № 3461.

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

Для обеспечения реализации методики поверки при определении метрологических характеристик применяется метод прямых измерений.

2. ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ

При проведении первичной и периодической поверок генераторов должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
1 Внешний осмотр	да	да	Раздел 6
2 Подготовка к поверке и опробование	да	да	Раздел 7
3 Проверка программного обеспечения	да	да	Раздел 8
4 Определение метрологических характеристик средства измерений и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	-	-	Раздел 9
5 Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала	да	да	9.1
6 Определение абсолютной погрешности установки уровня выходного сигнала	да	да	9.2
7 Определение параметров спектра сигнала в режиме непрерывных колебаний	да	да	9.3
8 Определение параметров режимов АМ, ЧМ, ФМ, ИМ(опция)	да	да	9.4
9 Определение параметров режима I/Q модуляции	да	да	9.5
10 Определение КСВН выхода генератора	да	да	9.6
11 Определение неравномерности АЧХ встроенного НЧ генератора	да	да	9.7
12 Определение погрешности установки напряжения смещения встроенного НЧ генератора	да	да	9.8
13 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; Средства измерений относительной влажности окружающего воздуха от 30 до 80 % с абсолютной погрешностью ± 3 %	Термогигрометр Fluke 1620A (рег. № 36331-07)
	Средства измерений атмосферного давления в диапазоне от 86 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 %. 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	Эталон единицы времени и частоты не ниже 4 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений времени и частоты в диапазоне частот от 9 кГц до 8 ГГц. Пределы допускаемой относительной погрешности частоты опорного генератора $\pm 2 \cdot 10^{-7}$	Частотомер универсальный CNT-90XL (рег. № 70888-18)
9.1	Эталоны единицы измерений времени и частоты, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 3 разряда по государственной поверочной схеме для средств измерений времени и частоты, утвержденной приказом Росстандарта № 2360 от 26.09.2022.	Стандарт частоты рубидиевый FS 725 рег. № 31222-06
9.2 – 9.5	Анализатор спектра. Диапазон частот от 3 Гц до 50 ГГц, гармонические искажения не более -70 дБн, уровень собственных фазовых шумов не более -129 дБн/Гц при отстройке от несущей.	Анализатор сигналов N9030A (рег. № 51073-12)
9.3	Измеритель фазовых шумов. Диапазон частот от 10 МГц до 26,5 ГГц, средний уровень собственных фазовых шумов в диапазоне от 10 МГц до 20 ГГц при отстройке от несущей на 20 кГц не более -119 дБн/Гц. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения уровня в диапазоне от 10 МГц до 20 ГГц не более ± 3 дБ.	Измеритель фазовых шумов FSWP26 (рег. № 63528-16)

Продолжение таблицы 2

1	2	3
9.4	Измеритель модуляции, соответствующий требованиям к эталонам не ниже 1 разряда по ГОСТ 8.717-2010, ГОСТ 8.697-2004. Диапазон частот от 0,1 до 2500 МГц.	Измеритель модуляции Boonton 8201 (рег. № 41237-09)
9.2, 9.4, 9.7	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 в диапазоне частот от 9 кГц до 8 ГГц.	Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ NRP-18A (рег. № 64926-16)
9.6	Анализатор цепей векторный, соответствующий требованиям к эталонам не ниже 2 разряда по ГОСТ 8.851-2013. Диапазон частот от 1 МГц до 26,5 ГГц.	Анализатор цепей векторный N5222A (рег. № 53568-13)
9.8	Мультиметр цифровой. Пределы измерений напряжения постоянного тока от 0,1 до 1000 В. Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности $\pm(3 \cdot 10^{-5} \cdot U + 6 \cdot 10^{-6} \cdot U_{\text{пр}})$.	Мультиметр цифровой 34465A (рег. № 63371-16)
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 № 903н.

5.2 Средства поверки, вспомогательные средства поверки и оборудование должны соответствовать требованиям безопасности, изложенным в руководствах по 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 генератора 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 генератор 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 поверяемый генератор должны быть подготовлены к работе согласно руководств по эксплуатации;
- контроль условий по обеспечению безопасности проведения поверки (раздел 5) должен быть выполнен перед началом поверки.

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

7.2 Опробование генераторов проводят путем проверки функционирования в соответствии с руководством по эксплуатации.

При отрицательном результате опробования генератор бракуется и направляется в ремонт.

8. ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Проверка идентификационных данных программного обеспечения генераторов 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 (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	-
Номер версии (идентификационный номер ПО)	не ниже V1.0.0.0.1 ¹⁾
Примечание: ¹⁾ – номер версии определяется значениями полей «Версия Uboot-OS» и «Версия ПО».	

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

Периодическая поверка генераторов в случае их использования для измерений (воспроизведения) меньшего числа величин, по отношению к указанным в разделе «Метрологические и технические характеристики» описания типа, допускается на основании письменного заявления владельца генераторов, оформленного в произвольной форме. Пункты методики 10.1 – 10.3 являются обязательными к проведению. Соответствующая запись должна быть сделана в свидетельстве о поверке генераторов.

9.1 Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала

Определение относительной погрешности установки частоты выходного сигнала проводить при помощи частотомера универсального CNT-90XL методом прямых измерений. В качестве опорного источника частоты для частотомера стандарт частоты рубидиевый FS 725.

9.1.1 Подготовить генератор к работе согласно инструкции по эксплуатации. Включить генератор и частотомер и прогреть в течение 30 минут.

9.1.2 Погрешность частоты определить путем измерения сигнала внутренней опорной частоты 10 МГц с выхода на задней панели генератора.

9.1.3 Установить на генераторе параметры по умолчанию. Включить генерацию СВЧ мощности.

9.1.4 Установить значение частоты из таблицы 4 и уровень выходной мощности минус 4 дБм.

9.1.5 Измерить выходную частоту генератора $F_{изм}$ с помощью частотомера. Зафиксировать результат измерений.

Таблица 4

Установленные значения частоты на генераторе, МГц	Измеренные значения частоты ($F_{изм}$), МГц	Рассчитанные значения (δF)	Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты (δF)
103,0 кГц			$\pm 1 \cdot 10^{-7}$
1,33 МГц			
51,33 МГц			
533,0 МГц			
1,933 ГГц			
2,100 ГГц			
2,433 ГГц			
2,933 ГГц			
3,933 ГГц			
4,933 ГГц			
5,933 ГГц			
6,933 ГГц			
7,933 ГГц			

9.1.6 Выключить генерацию СВЧ мощности.

9.1.7 Относительную погрешность определять по формуле (1):

$$\delta = ((F_{уст} - F_{изм})/F_{изм}) \cdot 100, \quad (1)$$

где $F_{уст}$ – значение, установленное на поверяемом генераторе;

$F_{изм}$ – значение по показаниям эталонного СИ.

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если относительная погрешность установки частоты не превышает допускаемых пределов, указанных в таблице 4.

9.1.8 После окончания измерений произвести регулировку частоты опорного генератора. Регулировку частоты опорного генератора, провести в соответствии с РЭ.

9.2 Определение абсолютной погрешности установки уровня выходного сигнала

Определение абсолютной погрешности установки уровня выходного сигнала проводить методом прямых измерений в диапазоне уровней от +20 до 0 дБм с помощью ваттметра поглощаемой мощности СВЧ NRP18A, в диапазоне уровней от -10 до -120 дБм – проводить с помощью анализатора сигналов N9030A.

9.2.1 Измерение максимального уровня выходного сигнала.

Для измерения максимального уровня выходного сигнала измерения проводят с помощью анализатора спектра N9030A.

9.2.2 Установить на генераторе параметры по умолчанию. Включить генерацию СВЧ мощности.

9.2.3 Последовательно установить частоту и уровень выходной мощности генератора из таблицы 5, провести измерение максимального уровня $P_{уст}$ дБм, с помощью анализатора спектра. Выключить генерацию СВЧ мощности. Зафиксировать результаты всех измерений в таблицу 5.

Таблица 5

Значение частоты	Установленное максимальное значение уровня мощности генератора, дБм	Измеренное значение уровня мощности, дБм
9 – 300 кГц	+8	
300 кГц – 1 ГГц	+20	
1,001 – 4,000 ГГц	+24	
4,001 – 8,000 ГГц	+20	

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если уровень выходной мощности не менее, приведенных в таблице 5.

9.2.4 Определение погрешности установки выходного уровня генератора в диапазоне уровней.

9.2.5 Провести калибровку преобразователя ваттметра в соответствии с его руководством по эксплуатации.

Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 1.



Рисунок 1 – Схема соединения приборов для определения погрешности установки выходного уровня генератора в диапазоне уровней от +20 до 0 дБм

9.2.6 Установить значение частоты и уровни выходной мощности из таблицы 6. Включить генерацию СВЧ мощности.

9.2.7 Измерить уровень выходной мощности генератора с помощью ваттметра. Зафиксировать показания ваттметра $P_{\text{в}}$ (дБм). Результаты измерений занести в таблицу 6.

9.2.8 Выключить генерацию СВЧ мощности.

9.2.9 Провести измерения уровня выходной мощности для значений частот и мощности, устанавливаемых согласно таблице 6.

9.2.10 Выключить генерацию СВЧ мощности.

9.2.11 Рассчитать погрешность установки уровня выходной мощности $\delta P_{\text{уст}}$, дБ, для каждой частоты и уровня мощности, по формуле (2):

$$\delta P_{\text{уст}} = P_{\text{уст}} - P_{\text{в}} \quad (2)$$

где $P_{\text{уст}}$ – значение уровня мощности, установленное на генераторе, дБм;

$P_{\text{в}}$ – значение уровня мощности, измеренное с помощью ваттметра, дБм.

Таблица 6

Значение частоты, МГц	Установленное значение уровня мощности, $P_{уст}$, дБм			
	+20	+13	+8	0
	Измеренное значение уровня мощности, $P_{в}$, дБм			
0,09	-	-		
0,1	-	-		
0,3	-	-		
0,5				
1				
10				
50				
100				
200				
400				
600				
800				
1000				
2000				
4000				
6000				
8000				

9.2.12 Для определения частотной поправки соединительного кабеля, используемую в дальнейшем при измерении погрешности установки уровня выходной мощности с использованием анализатора спектра N9030A, собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 2. Для определения частотной поправки использовать ваттметр поглощаемой мощности NRP18A.

9.2.13 Установить на генераторе параметры по умолчанию. Включить генерацию СВЧ мощности.

9.2.14 Установить значение фиксированной частоты 50 МГц.

9.2.15 Установить уровень выходной мощности -15 дБм.

9.2.16 Установить на анализаторе следующие настройки:

- опорный уровень: -25 дБм;
- предусилитель: выкл.;
- полоса пропускания: авто;
- полоса обзора: 10 кГц;
- усреднение: 10.

9.2.17 Подать сигнал с выхода внутреннего опорного генератора 10 МГц анализатора на вход «10 MHz IN» генератора. Допускается синхронизировать генератор и анализатор от внешней опорной частоты (от стандарта частоты).

9.2.18 В настройках управления генератором включить синхронизацию от внешнего опорного генератора частотой 10 МГц.

9.2.19 Измерить уровень выходной мощности генератора на частоте 50 МГц и максимально допустимой частоте генератора с помощью анализатора и измерителя мощности. Зафиксировать результаты измерений.

9.2.20 Рассчитать значение корректирующей поправки измерения уровня -20 дБм анализатором ΔP по формуле (3):

$$\Delta P = P_{в} - P_{ac} \quad (3)$$

где $P_{в}$ – значение уровня мощности, измеренное с помощью ваттметра, дБм;

P_{ac} – значение уровня мощности, измеренное с помощью анализатора спектра, дБм.

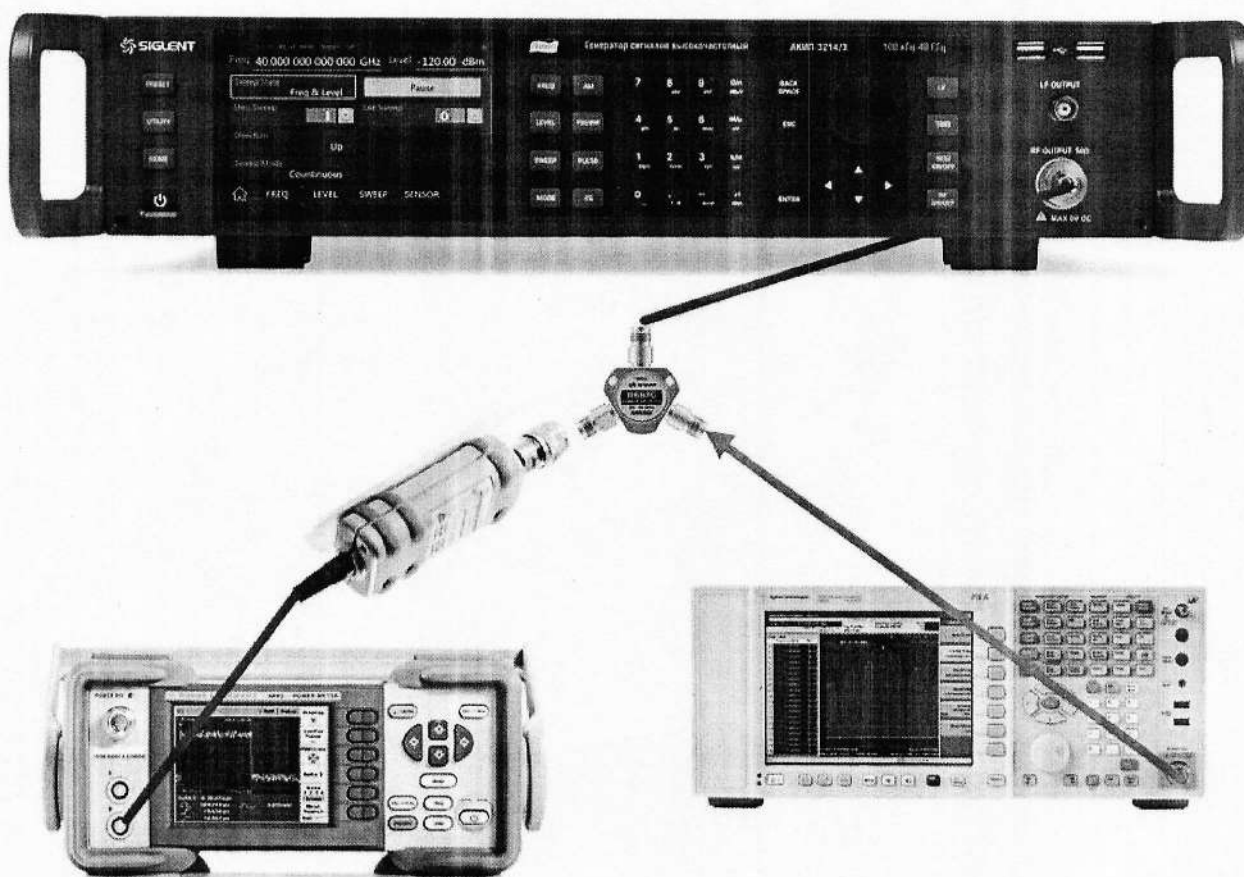


Рисунок 2 – Схема соединения приборов для определения погрешности установки выходного уровня генератора с использованием анализатора спектра N9030A

9.2.21 Собрать измерительную схему в соответствии с рисунком 3.

9.2.22 Последовательно устанавливая уровень выходной мощности генератора в диапазоне от -10 дБм до -120 дБм с шагом 10 дБм, провести измерение уровня $P_{уст}$, дБм, с помощью анализатора спектра. Зафиксировать результаты всех измерений.

9.2.23 Рассчитать погрешность установки уровня выходной мощности $\delta P_{уст}$, дБ, для уровней мощности от -10 дБм до -120 дБм. Погрешность установки уровня выходной мощности вычисляется по формуле (4):

$$\delta P_{\text{VCT}} = P_{\text{ac}} + \Delta P - P_{\text{VCT}} \quad (4)$$

где P_{ac} – значение уровня мощности, измеренное с помощью анализатора спектра, дБм;

$P_{уст}$ – номинальное (установленное) значение уровня мощности на генераторе, дБм;

ΔP – корректирующая поправка, рассчитанная по формуле (3).

9.2.24 Поочередно повторить операции по п. п. 9.2.19 – 9.2.23 для частот сигнала, приведенных в таблице 7.

Таблица 7

[illegible]

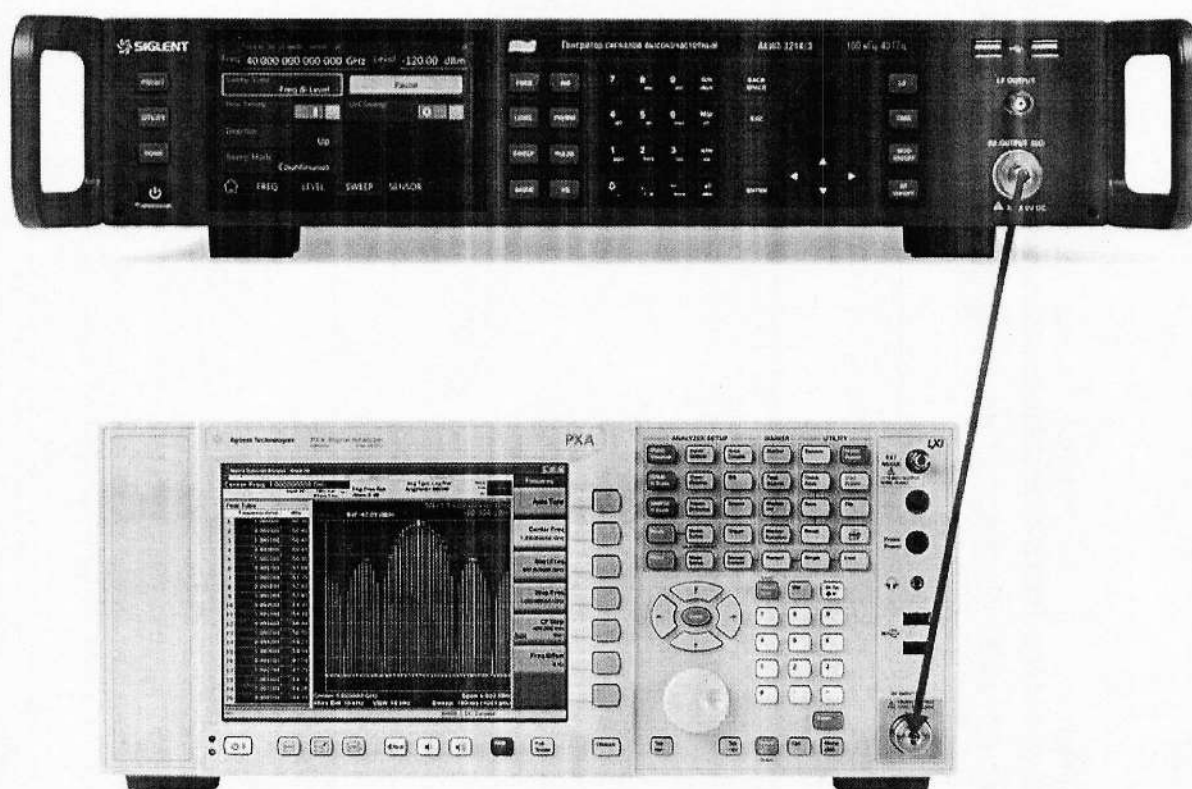


Рисунок 3 – Схема соединения приборов для определения погрешности установки выходного уровня генератора в диапазоне уровней от -10 дБм до -120 дБм и параметров спектра

9.2.25 При измерении уровней от -70 дБ до -120 дБ, включить предусилитель анализатора спектра и установить аттенюатор на 0 дБ.

9.2.26 Выключить генерацию СВЧ мощности на выходе генератора

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если погрешность установки выходного уровня генератора не превышает допустимых значений, приведенных в таблице 8.

Таблица 8

Наименование характеристики			Значение
Пределы основной допускаемой абсолютной погрешности установки уровня выходного сигнала в режиме АРУ (ALC), дБ	- в диапазоне частот от 9 до 300 кГц включ.	- в диапазоне уровней выходного сигнала: св. -130 до -110 дБм включ. св. -100 до -90 дБм включ. св. -90 до -40 дБм включ. св. -40 до +24 дБм включ.	- ±1,1 ±0,7 ±0,7
	- в диапазоне частот св. 300 кГц до 1 МГц включ.	- в диапазоне уровней выходного сигнала: св. -130 до -110 дБм включ. св. -100 до -90 дБм включ. св. -90 до -40 дБм включ. св. -40 до +24 дБм включ.	±1,6 ±1,1 ±0,7 ±0,7
	- в диапазоне частот св. 1 МГц до 8 ГГц включ.	- в диапазоне уровней выходного сигнала: св. -130 до -110 дБм включ. св. -100 до -90 дБм включ. св. -90 до -40 дБм включ. св. -40 до +24 дБм включ.	±2,0 ±1,1 ±0,7 ±0,7

9.3 Определение параметров спектра сигнала в режиме непрерывных колебаний

Определение параметров спектра сигнала в режиме непрерывных колебаний проводить с помощью анализатора сигналов N9030A.

9.3.1 Выход генератора подключить к входу анализатора сигналов в соответствии с рисунком 3. Подготовить анализатор спектра к работе в соответствии с его руководством по эксплуатации. На выходе генератора установить немодулированный сигнал, частотой 10 МГц и уровнем 0 дБм. На анализаторе спектра установить опорный уровень 5 дБм, шкала 13 дБм /дел, центральную частоту, равную частоте сигнала с генератора, полосу пропускания 1 кГц. Измерить уровень основной (первой) гармоники и зафиксировать ее уровень P_{f1} . Измерить уровень второй гармоники и зафиксировать ее уровень P_{f2} . Произвести вычисление уровня второй гармоники по отношению к уровню несущей по формуле (5):

$$P_{dвс} = P_{f1} - P_{f2} \quad (5)$$

где P_{f1} – уровень первой гармоники, дБм;

P_{f2} – уровень второй гармоники, дБм.

Повторить измерения на частотах 1; 512 МГц; 2,512; 6,512 ГГц

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если уровни гармонических составляющих не превышают значений, приведенных в таблице 9.

Таблица 9

Наименование характеристики	Значение
Уровень гармонических искажений при $P_{вых}$ менее +13 дБм, в диапазоне частот от 1 МГц до 8 ГГц, дБн, не более	-30

9.3.2 Для измерения субгармонических и негармонических искажений установить на генераторе немодулированный сигнал, частотой 1,001 МГц и уровнем 0 дБм. На анализаторе спектра установить опорный уровень 5 дБм, полосу обзора от 22 кГц до верхнего предела диапазона частот генератора, полосу пропускания 30 Гц, включить усреднение. Дождаться окончания усреднения (допускается использовать однократный запуск). Измерить маркером уровень несущего колебания P_{f1} , затем провести измерения максимального уровня дискретных составляющих ($P_{искаж}$), исключая гармонические составляющие, в полосе обзора при отстройке от несущей >10 кГц:

- субгармонических составляющих – на частотах равных кратной доле значения основной частоты и ниже частоты несущей;

- негармонических составляющих – на частотах, не кратных значению основной частоты.

9.3.3 Определить уровень искажений по формуле (6):

$$D = P_{f1} - P_{искаж} \quad (6)$$

9.3.4 Повторить измерения на частотах 1,912; 3,912; 5,912 ГГц.

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если уровень субгармонических и негармонических искажений не превышает допустимых значений, приведенных в таблице 10.

Таблица 10

Наименование характеристики	Значение
Уровень субгармонических искажений при отстройке от несущей >10 кГц, дБн, не более - в диапазоне частот от 1 МГц до 8 ГГц	-80
Уровень негармонических искажений, дБн, не более - в диапазоне частот от 1 МГц до 8 ГГц включ.	-65

9.3.5 Измерения фазовых шумов производить методом прямых измерений с использованием измерителя фазовых шумов FSWP26.

Произвести настройки измерителя фазовых шумов FSWP26 в соответствии с его руководством по эксплуатации.

Установить на генераторе немодулированный сигнал, частотой 100 МГц и уровнем 0 дБм.

Подключить генератор к измерителю фазовых шумов.

Произвести измерения фазовых шумов генератора при отстройке от несущей на 20 кГц.

Повторить измерение на частотах сигнала 1, 4, 6, 8 ГГц.

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если уровень фазовых шумов не превышает допускаемых значений, приведенных в таблице 11.

Таблица 11

Наименование характеристики	Значение
Спектральная плотность мощности фазовых шумов при отстройке от несущей 20 кГц в зависимости от частоты несущей, приведенная к полосе 1 Гц, дБн/Гц	
- частота несущей 100 МГц	-132
- частота несущей 1 ГГц	-132
- частота несущей 4 ГГц	-123
- частота несущей 6 ГГц	-119
- частота несущей 8 ГГц	-117

9.4 Определение параметров режимов АМ, ЧМ, ФМ, ИМ (опция)

Определение параметров режимов АМ проводить при помощи измерителя параметров модуляции Boonton 8201 (далее – измеритель Boonton 8201), определение параметров в режиме ИМ проводить при помощи анализатора спектра N9030A.

Выход генератора подключить на вход измерителя Boonton 8201 согласно инструкции по эксплуатации на измеритель. Полосу пропускания измерителя устанавливать в соответствии с частотой модуляции.

9.4.1 Для определения параметров в режиме АМ на генераторе установить режим внутренней АМ с $K_{ам} = 1\%$ и частотой модулирующего колебания 1 кГц, несущую 1 ГГц и уровень -10 дБм. На измерителе – режим АМ с отображением $K_{ам}$ и значения коэффициента гармоник K_g огибающей.

Провести измерения $K_{ам}$ и K_g , повторить измерения для $K_{ам} 10\%, 30\%, 50\%, 90\%$. Абсолютную погрешность установки $K_{ам}$ вычислить по формуле (7):

$$\Delta = X - X_э \quad (7)$$

где X – значение, установленное на поверяемом генераторе;

$X_э$ – значение по показаниям эталонного СИ.

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если полученные значения абсолютной погрешности установки $K_{ам}$ не превышают допускаемых пределов: $\pm(0,04 \cdot K_{ам} + 1)\%$, коэффициент гармоник не более 3 %.

9.4.2 Для определения параметров в режиме ЧМ на генераторе установить режим внутренней ЧМ, девиацию частоты $\Delta f = 50$ кГц, частоту модулирующего колебания 1 кГц, несущую 1 ГГц и уровень 0 дБм. На измерителе – режим ЧМ с отображением Δf и значения коэффициента гармоник K_2 .

Провести измерения Δf и K_2 , повторить измерения для Δf 10 кГц, 20 кГц, 50 кГц, 100 кГц, 200 кГц, 300 кГц, 400 кГц, 500 кГц. Абсолютную погрешность установки Δf вычислить по формуле (7).

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если полученные значения абсолютной погрешности установки Δf не превышают допускаемых пределов: $\pm(0,02 \cdot \Delta f + 20)$ Гц, коэффициент гармоник не более 3 %.

9.4.3 Для определения параметров в режиме ФМ на генераторе установить режим внутренней ФМ, девиацию фазы $\Delta \varphi = 0,5$ рад, частоту модулирующего колебания 1 кГц, несущую 1 ГГц и уровень 0 дБм. На измерителе – режим ФМ.

Провести измерения $\Delta \varphi$ и K_2 , повторить измерения для $\Delta \varphi = 0,625$ рад. Абсолютную погрешность установки $\Delta \varphi$ вычислить по формуле (7).

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если полученные значения абсолютной погрешности установки $\Delta \varphi$ не превышают допускаемых пределов: $\pm(0,02 \cdot \Delta \varphi + 0,05)$ рад.

9.4.2 Для определения параметров в режиме ИМ выход генератора подключить на вход анализатора спектра N9030A. Анализатор и генератор синхронизировать по общей опорной частоте, выход синхросигнала с генератора подключить на вход внешней синхронизации анализатора, как показано на рисунке 4.

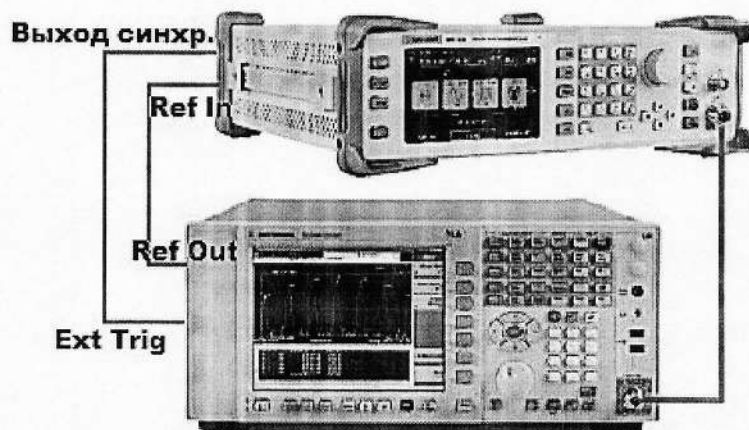


Рисунок 4 – Схема соединения приборов для определения параметров в режиме ИМ

9.4.2.1 Для определения коэффициента подавления сигнала несущей в паузе между радиоимпульсами на генераторе установить:

- частота несущей: 1 ГГц;
- выходной уровень: -10 дБм;
- выход: включен;
- режим одиночного импульса;
- период следования импульсов: 1 с;
- длительность импульсов: 0,5 с;
- режим импульсной модуляции: включен;
- модуляция: включена.

9.4.2.2 На анализаторе спектра выполнить следующие установки:

- режим анализатора спектра;
- сброс в начальные установки;
- опорный уровень: 0 дБм;
- аттенюатор: 20 дБ;
- центральная частота: 1 ГГц;
- полоса обзора: 0 Гц;
- полоса пропускания: 100 Гц;
- видеофильтр: 100 кГц;
- время развертки: 1 с;
- запуск по видеоимпульсу.

9.4.2.3 На экране анализатора должен наблюдаться перепад импульса. Маркером измерить уровень сигнала на вершине импульса P_1 и уровень сигнала в паузе между импульсами P_2 . Вычислить подавление в паузе как разность между измеренными уровнями.

9.4.2.3 Повторить измерения для частот несущей 4 ГГц и 8 ГГц.

Результаты проверки по данному пункту считать положительными, если подавление радиоимпульса в паузе не менее 80 дБ.

9.5 Определение параметров режима I/Q модуляции

Определение параметров режима I/Q модуляции проводить с помощью анализатора спектра N9030A.

9.5.1 Для определения параметров в режиме I/Q модуляции выход генератора подключить на вход анализатора спектра N9030A. Анализатор и генератор синхронизировать по общей опорной частоте, как показано на рисунке 5.

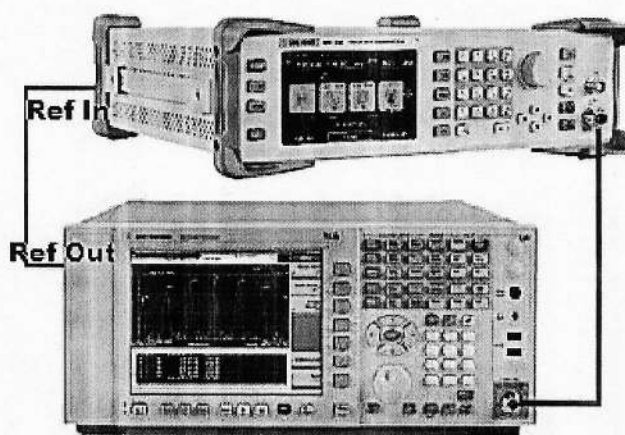


Рисунок 5 – Схема соединения приборов для определения параметров в режиме I/Q модуляции

9.5.2 Для определения полосы модулирующих частот на генераторе установить:

- частота сигнала: 533 МГц;
- выходной уровень: 0 дБм.

9.5.3 Установить на генераторе следующие параметры модуляции:

- IQ MOD -> Custom -> Custom State: ON;
- Modulation Mod Type -> PSK;
- PSK Type -> QPSK;
- Filter -> Filter Type:None;
- Data Source -> Symbol Rate: 10 MSps.

9.5.4 Для загрузки параметров модуляции нажать кнопку «Update».

9.5.5 На передней панели нажать кнопку «MOD ON/OFF» для включения модуляции (или кнопку IQ MOD ON на экране).

9.5.6 На анализаторе спектра установить:

- режим анализатора спектра;
- нажать кнопку «Mode Preset»;
- центральную частоту 533 МГц;
- режим измерения Occupied BW;
- полосу обзора в режиме измерения 30 МГц.

9.5.7 Включить выход генератора.

9.5.8 Произвести измерения.

9.5.9 Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если измеренное значение полосы модулирующих частот не менее 20 МГц.

9.5.10 Установить скорость передачи 60 Мб/с (Data Source -> Symbol Rate: 60 MSps).

Для загрузки нажать кнопку «Update».

9.5.11 На анализаторе спектра установить полосу обзора в режиме измерения 150 МГц.

9.5.12 Произвести измерения.

9.5.13 Выключить выход генератора.

9.5.14 Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если измеренное значение полосы модулирующих частот не менее 120 МГц.

9.5.15 Для определения ошибки I/Q модуляции на генераторе установить:

- значение частоты в соответствии с таблицей 12;
- выходной уровень: 0 дБм;
- Установить на генераторе следующие параметры модуляции:
- IQ MOD -> Custom -> Custom State: ON;
- Modulation Mod Type -> PSK;
- PSK Type -> QPSK;
- Filter -> Filter Type: RootCosine;
- Filter -> Filter Alpha: 0.25;
- Data Source -> Symbol Rate: 4 MSps.

9.5.16 Для загрузки параметров модуляции нажать кнопку «Update».

9.5.17 На передней панели нажать кнопку «MOD ON/OFF» для включения модуляции (или кнопку IQ MOD ON на экране).

9.5.18 На анализаторе спектра установить:

- режим векторный анализатор сигналов;
- нажать кнопку «Mode Preset»;
- опорный уровень 0 дБм;
- центральную частоту, равную значению частоты генератора;
- полосу обзора 6 МГц;
- диапазон амплитуды 2 дБм;
- режим измерения Digital Demod;
- скорость передачи символов демодулятора 4 МГц;
- тип модуляции QPSK;
- Meas Filter: Root Raised Cosine;
- Ref Filter: Raised Cosine;
- filter Alpha: 0.25

Таблица 12

Установленное значение частоты сигнала	Измеренное значение ошибки I/Q модуляции	Допускаемое значение ошибки I/Q модуляции
Тип модуляции: QPSK		
51,33 МГц		1 %
533 МГц		1 %
1,933 ГГц		1 %
2,433 ГГц		1 %
2,933 ГГц		1 %
3,933 ГГц		1 %
4,933 ГГц		1 %
5,933 ГГц		1 %
6,933 ГГц		1 %
7,933 ГГц		1 %
Тип модуляции: 16QAM		
51,33 МГц		1 %
533 МГц		1 %
1,933 ГГц		1 %
2,433 ГГц		1 %
2,933 ГГц		1 %
3,933 ГГц		1 %
4,933 ГГц		1 %
5,933 ГГц		1 %
6,933 ГГц		1 %
7,933 ГГц		1 %

9.5.19 Включить выход генератора.

9.5.20 Произвести измерения и результаты занести в таблицу 12.

9.5.21 Изменить тип модуляции в генераторе и анализаторе на 16QAM и провести измерения. Результаты измерений занести в таблицу 12.

9.5.22 Выключить выход генератора.

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если измеренное значение ошибки I/Q модуляции не превышает 1 %.

9.6 Определение КСВН выхода генератора

КСВН выхода определить при помощи анализатора цепей векторного N5227A. Анализатор цепей откалибровать на конце кабеля, с помощью которого проводится подключение к выходу генератора. На генераторе установить частоту 1 ГГц, уровень -80 дБм, режим АРУ включен. На анализаторе цепей установить режим измерения КСВН в полосе частот от 10 МГц до верхней частоты диапазона частот генератора.

Результаты поверки считать положительными, если значение КСВН:

- в диапазоне частот от 1 МГц до 8 ГГц не превышает 2;

9.7 Определение неравномерности АЧХ встроенного НЧ генератора

Определение неравномерности АЧХ встроенного НЧ генератора проводить методом прямых измерений при помощи ваттметра NRP18A.

9.7.1 Подключить преобразователь измерителя мощности к низкочастотному выходу генератора в соответствии с рисунком 6.



Рисунок 6 – Схема соединения приборов для определения неравномерности АЧХ встроенного НЧ генератора

9.7.2 Установить на генераторе синусоидальную форму сигнала с частотой 100 кГц, значение уровня сигнала 0 дБм.

9.7.3 Измерить установленное значение уровня мощности ваттметром и зафиксировать его в качестве опорного значения уровня на частоте 100 кГц ($P_{оп}$).

9.7.4 Не меняя уровень на генераторе, провести измерение уровня мощности ваттметром, изменяя частоту сигнала на генераторе. Частота выбирается из ряда 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000 кГц.

9.7.5 Определить неравномерность АЧХ по формуле (8):

$$\Delta_{АЧХ} = P_{изм} - P_{оп} \quad (8)$$

где $P_{изм}$ – измеренное значение уровня сигнала на установленной частоте, дБм;

$P_{оп}$ – опорное значение уровня сигнала на частоте 100 кГц, дБм

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если неравномерность АЧХ не превышает $\pm 0,3$ дБм.

9.8 Определение погрешности установки напряжения смещения встроенного НЧ генератора

Определение погрешности установки напряжения смещения встроенного НЧ генератора проводить методом прямых измерений при помощи мультиметра цифрового 34465А.

9.8.1 Подключить мультиметр к низкочастотному выходу генератора через проходную нагрузку 50 Ом в соответствии с рисунком 7.

9.8.2 Установить на мультиметре режим измерения напряжения постоянного тока и обнулить показания.

9.8.3 На генераторе установить синусоидальную форму сигнала, частоту 1 кГц, уровень выходного напряжения 2 мВ. Включить выход.

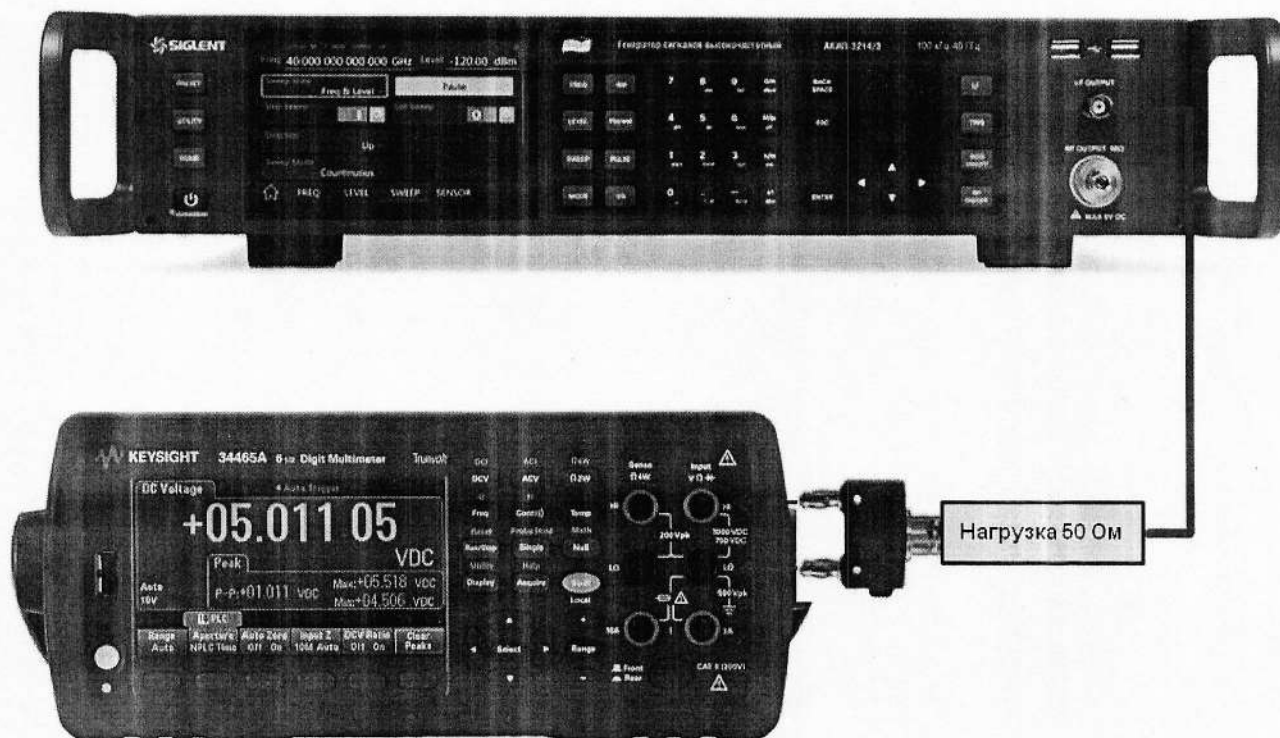


Рисунок 7 – Схема соединения приборов для определения погрешности установки уровня постоянного смещения

9.8.4 Установить значения постоянного смещения из ряда: +2 В, +1 В, +100 мВ, +10 мВ, 0 мВ, -10 мВ, -100 мВ, -1 В, -2 В.

9.8.5 Измерить установленное значение постоянного смещения.

9.8.6 Определить абсолютную погрешность установки постоянного смещения по формуле (9):

$$\Delta U_{\text{см}} = U_{\text{см}} - U_{\text{изм}} \quad (9)$$

где $U_{\text{см}}$ – установленное значение постоянного смещения, В;

$U_{\text{изм}}$ – измеренное значение постоянного смещения, В

Результаты поверки по данному пункту считать положительными, если погрешность установки постоянного смещения не превышает $\pm(0,01 \cdot U_{\text{см}} + 3)$ мВ.

10. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

10.1 Результаты поверки подтверждаются сведениями, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с порядком, установленным действующим законодательством.

10.2 По заявлению владельца или лица, представившего СИ на поверку, положительные результаты поверки оформляют свидетельством о поверке, содержащем информацию в соответствии с действующим законодательством, и (или) нанесением на СИ знака поверки.

10.3 По заявлению владельца или лица, представившего СИ на поверку, отрицательные результаты поверки оформляют извещением о непригодности к применению средства измерений, содержащем информацию в соответствии с действующим законодательством.

10.4 Протоколы поверки оформляются по произвольной форме по заявлению владельца или лица, представившего СИ на поверку.

Начальник отдела испытаний
АО «ПриСТ»

О. В. Котельник

Ведущий инженер по метрологии
отдела испытаний АО «ПриСТ»

Е. Е. Смердов

Инженер по метрологии АО «ПриСТ»

Ю. Ю. Бакаева

Метрологические требования подтверждаемые в результате поверки

Таблица А1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики			Значение			
Частотные параметры						
Диапазон частот			от 9 кГц до 8 ГГц			
Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты			$\pm 1 \cdot 10^{-7}$			
Параметры уровня выходного сигнала						
Диапазон установки уровня выходного сигнала на нагрузке 50 Ом, дБм (в скобках указано нормируемое значение) - в диапазоне частот от 9 до 300 кГц включ. - в диапазоне частот св. 300 кГц до 1 МГц включ. - в диапазоне частот св. 1 МГц до 4 ГГц включ. - в диапазоне частот св. 4 до 8 ГГц включ.			от -140 до +9 (от -110 до +8) от -140 до +25 (от -110 до +20) от -140 до +25 (от -130 до +24) от -140 до +30 (от -130 до +20)			
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки уровня выходного сигнала в режиме АРУ (ALC), дБ	- в диапазоне частот от 9 до 300 кГц включ.	- в диапазоне уровней выходного сигнала: св. -130 до -110 дБм включ. св. -100 до -90 дБм включ. св. -90 до -40 дБм включ. св. -40 до +24 дБм включ.	- ±1,1 ±0,7 ±0,7			
		- в диапазоне частот св. 300 кГц до 1 МГц включ.	- в диапазоне уровней выходного сигнала: св. -130 до -110 дБм включ. св. -100 до -90 дБм включ. св. -90 до -40 дБм включ. св. -40 до +24 дБм включ.	±1,6 ±1,1 ±0,7 ±0,7		
			- в диапазоне частот св. 1 МГц до 8 ГГц включ.	- в диапазоне уровней выходного сигнала: св. -130 до -110 дБм включ. св. -100 до -90 дБм включ. св. -90 до -40 дБм включ. св. -40 до +24 дБм включ.	±2,0 ±1,1 ±0,7 ±0,7	
				Пределы дополнительной погрешности допускаемой абсолютной погрешности установки уровня выходного сигнала при выключенном режиме АРУ (ALC), дБ		
	Параметры спектра выходного сигнала ¹⁾					
	Уровень гармонических искажений при $P_{\text{вых}}$ менее +13 дБм, в диапазоне частот от 1 МГц до 8 ГГц, дБн, не более			-30		
	Уровень субгармонических искажений при $P_{\text{вых}}$ менее +13 дБм, в диапазоне частот от 1 МГц до 8 ГГц, дБн, не более			-80		
	Спектральная плотность мощности фазовых шумов при отстройке от несущей 10 кГц в зависимости от частоты несущей, приведенная к полосе 1 Гц, дБн/Гц, не более					
	- частота несущей 100 МГц			-132		
	- частота несущей 1 ГГц			-132		
	- частота несущей 2 ГГц			-128		
	- частота несущей 3 ГГц			-125		
- частота несущей 4 ГГц			-123			
- частота несущей 5 ГГц			-120			
- частота несущей 6 ГГц			-119			
- частота несущей 7 ГГц			-118			
- частота несущей 8 ГГц			-117			

Продолжение таблицы А1

Наименование характеристики	Значение
Уровень негармонических искажений при $P_{\text{вых}}$ менее +13 дБм, в диапазоне частот от 1 МГц до 8 ГГц включ., дБн, не более	-65
Спектральная плотность мощности фазовых шумов при отстройке от несущей 10 кГц в зависимости от частоты несущей, приведенная к полосе 1 Гц, дБн/Гц, не более	
- частота несущей 100 МГц	-132
- частота несущей 1 ГГц	-132
- частота несущей 2 ГГц	-128
- частота несущей 3 ГГц	-125
- частота несущей 4 ГГц	-123
- частота несущей 5 ГГц	-120
- частота несущей 6 ГГц	-119
- частота несущей 7 ГГц	-118
- частота несущей 8 ГГц	-117
Параметры внутреннего модулирующего генератора	
Допускаемая абсолютная погрешность установки постоянного смещения, мВ	$\pm(0,01 \cdot U_{\text{см}} + 3)$
Неравномерность АЧХ встроенного генератора, дБ	$\pm 0,3$
Параметры амплитудной синусоидальной модуляции (АМ)	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки коэффициента АМ ($K_{\text{ам}}$) в режиме внутренней АМ, при $K_{\text{ам}}$ не более 80 %, уровне выходного сигнала 0 дБм и модулирующей частоте 1 кГц, %	$\pm(0,04 \cdot K_{\text{ам}} + 1)$
Коэффициент гармоник огибающей АМ в режиме внутренней АМ, при модулирующей частоте 1 кГц, $K_{\text{ам}} \leq 80$ %, и уровне выходного сигнала не более 0 дБм, %, не более	3
Параметры частотной модуляции (ЧМ)	
Масштабный коэффициент N	
- в диапазоне частот от 9 кГц до 1 МГц включ.	1
- в диапазоне частот св. 1 до 250 МГц включ.	0,125
- в диапазоне частот св. 250 до 400 МГц включ.	0,03125
- в диапазоне частот св. 400 до 800 МГц включ.	0,125
- в диапазоне частот св. 800 МГц до 1,6 ГГц включ.	0,25
- в диапазоне частот св. 1,6 до 3,2 ГГц включ.	0,5
- в диапазоне частот св. 3,2 до 6,4 ГГц включ.	1
- в диапазоне частот св. 6,4 до 8,0 ГГц включ.	1
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки девиации частоты Δf в режиме внутренней ЧМ, при Δf не более 50 кГц, при модулирующей частоте 1 кГц, Гц	$\pm(0,02 \cdot \Delta f + 20)$
Коэффициент гармоник ЧМ, при модулирующей частоте 1 кГц, $K_{\text{ам}}$ не более 30 % и уровне не более 0 дБм, %, не более	3
Параметры фазовой модуляции (ФМ)	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности установки девиации фазы $\Delta \phi$ в режиме внутренней ФМ, при $\Delta \phi$ не более $5 \cdot N$, при модулирующей частоте 1 кГц, рад	$\pm(0,02 \cdot \Delta \phi + 0,05)$
Параметры IQ модуляции	
Допускаемое значение ошибки I/Q модуляции, %, не более	1
Примечания:	
$U_{\text{вых}}$ — установленное значение напряжения на выходе, В;	
$U_{\text{см}}$ — установленное значение постоянного смещения, В;	
$K_{\text{ам}}$ — коэффициент амплитудной модуляции, %.	