

1084



УТВЕРЖДАЮ

**Начальник ГЦИ СИ «Воентест»
32 ГНИИ МО РФ**

А.Ю. Кузин

« 19 » января 2006 г.

Инструкция

**Конверторы сверхширокополосные понижающие ВК 700
фирмы «MITEQ INC.», США**

Методика поверки

**г. Мытищи
2006 г.**

1 Введение

Настоящая методика распространяется на конверторы сверхширокополосные понижающие ВК 700 (далее - конверторы) и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок, проводимых в соответствии с Правилами по метрологии ПР 50.2.006-94. Межповерочный интервал – 1 год.

2 Операции поверки

При поверке выполняют операции, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта Методики	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
1 Внешний осмотр	7.1	да	да
2 Опробование	7.2	да	да
3 Определение метрологических характеристик	8		
3.1 Определение коэффициента передачи и неравномерности частотной характеристики коэффициента передачи	8.1	да	да
3.2 Определение рабочего диапазона частот и диапазона частот сигнала промежуточной частоты	8.2	да	да
3.3 Определение коэффициента усиления и погрешности его установки	8.3	да	да
3.4 Определение частоты, диапазона изменения частоты и погрешности установки частоты гетеродина	8.4	да	да
3.5 Определение уровня побочных гармонических составляющих в спектре выходного сигнала	8.5	да	да
3.6 Определение коэффициента шума	8.6	да	да

3 Средства поверки

3.1 При проведении поверки используют средства измерений и вспомогательное оборудование, представленное в таблице 2.

Таблица 2

Номер пункта документа по поверке	Наименование рабочих эталонов или вспомогательных средств поверки; номер документа, регламентирующего технические требования к рабочим эталонам или вспомогательным средствам; разряд по государственной поверочной схеме и (или) метрологические и основные технические характеристики
8.1, 8.2, 8.5	Генератор сигналов высокочастотный Г4-158: диапазон частот от 10 кГц до 100 МГц; погрешность установки частоты не более $\pm 0,001$ %; погрешность установки уровня выходного сигнала не более $\pm 0,5$ дБ
8.1, 8.2, 8.5	Генератор сигналов высокочастотный Г4-176А: диапазон частот от 100 кГц до 1280 МГц; погрешность установки частоты не более $\pm 1,5 \cdot 10^{-5}$ Гц; $U_{\text{вых max}} = 0,5$ В.
8.1, 8.2, 8.5	Генератор сигналов высокочастотный Г4-211: диапазон частот от 1,07 ГГц до 4 ГГц; погрешность установки частоты не более $\pm 0,5$ %; $P_{\text{вых max}} = 80$ мВт.
8.1 - 8.5	Генератор сигналов высокочастотный Г4-212: диапазон частот от 2,0 ГГц до 8,15 ГГц; погрешность установки частоты не более $\pm 0,5$ %; $P_{\text{вых max}} = 60$ мВт.

Номер пункта документа по поверке	Наименование рабочих эталонов или вспомогательных средств поверки; номер документа, регламентирующего технические требования к рабочим эталонам или вспомогательным средствам; разряд по государственной поверочной схеме и (или) метрологические и основные технические характеристики
8.1 - 8.5	Генератор сигналов высокочастотный Г4-213: диапазон частот от 8,15 ГГц до 17,85 ГГц; погрешность установки частоты не более $\pm 0,5\%$; $P_{\text{вых max}} = 40\text{ мВт}$.
8.1 - 8.5	Генератор сигналов высокочастотный Г4-155: диапазон частот от 17,44 ГГц до 25,95 ГГц; нестабильность частоты выходного сигнала не более $1 \cdot 10^{-4}$ (за 15 мин.).
8.1 - 8.5	Частотомер электронно-счетный ЧЗ-66: диапазон измеряемых частот от 10 Гц до 37,5 ГГц; относительная погрешность по частоте встроенного кварцевого генератора не более $\pm 5 \cdot 10^{-7}$ за год.
8.5	Анализатор спектра С4-85: диапазон частот от 100 Гц до 39,6 ГГц; погрешность измерений уровня синусоидального сигнала в полосе частот от 10 МГц до 1,7 ГГц не более 3 дБ, в полосе частот от 1,7 ГГц до 5 ГГц - не более 4 дБ.
8.6	Измеритель коэффициента шума Х5-23: диапазон частот от 10 МГц до 1,25 ГГц; пределы измерений от 0 дБ до 20 дБ; погрешность измерений не более $\pm 0,4$ дБ.
8.6	Измеритель коэффициента шума Х5-24: диапазон частот от 700 МГц до 4,0 ГГц; пределы измерений от 0 дБ до 20 дБ; погрешность измерений не более $\pm 0,38$ дБ.
8.6	Измеритель коэффициента шума Х5-25: диапазон частот от 3,2 ГГц до 12,05 ГГц; пределы измерений от 0 дБ до 20 дБ; погрешность измерений не более $\pm 0,34$ дБ.
8.6	Измеритель коэффициента шума Х5-26: диапазон частот от 12,05 ГГц до 17,44 ГГц; пределы измерений от 0 дБ до 20 дБ; погрешность измерений не более $\pm 0,3$ дБ.
8.6	Измеритель коэффициента шума Х5-27: диапазон частот от 17,44 ГГц до 25,86 ГГц; пределы измерений от 0 дБ до 20 дБ; погрешность измерений не более $\pm 0,5$ дБ.
8.6	Генератор шума Г2-59: диапазон частот от 2 Гц до 6,5 МГц, погрешность установки напряжения шумового сигнала не более $+ (1+3U_k/U_x)$, где U_k - конечное значение напряжения, U_x - измеряемое значение напряжения.
8.1 - 8.3	Измеритель поглощаемой мощности МЗ-90: диапазон частот от 20 МГц до 17,85 ГГц; пределы измерений от 10^{-7} до 10^{-2} Вт; погрешность $\pm (4 - 6)\%$.
8.1 - 8.3	Измеритель поглощаемой мощности МЗ-91: диапазон частот от 17,44 ГГц до 25,86 ГГц; пределы измерений от 10^{-7} до 10^{-2} Вт; погрешность измерений $\pm (4 - 6)\%$.
8.1 - 8.3	Милливольтметр ВЗ-59: диапазон частот от 10 Гц до 100 МГц; погрешность измерений $\pm (0,4 - 1,5)\%$.
<i>Вспомогательное оборудование</i>	
8.1, 8.2, 8.5	Калиброванный коаксиально-волноводный переход с сечения 11x5,5 мм на 7/3; аттенюатор 6 дБ, калиброванный переход с разъема 7/3 на разъем SMA, калиброванный переход с разъема SMA на разъем 7/3, калиброванный тройник

3.2 Допускается использование других средств измерений и вспомогательного оборудования, имеющих метрологические и технические характеристики не хуже характеристик приборов, приведенных в таблице 2.

4 Требования безопасности

4.1 При проведении поверки необходимо соблюдать требования техники безопасности, предусмотренные «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (изд.3), ГОСТ12.2.007.0-75, ГОСТ12.1.019-79, ГОСТ12.2.091-94 и требования безопасности, указанные в технической документации на применяемые средства измерений и вспомогательное оборудование.

4.2 Поверка конвертора должна осуществляться лицами не моложе 18 лет, изучившими эксплуатационную, нормативную и нормативно-техническую документацию на измерительную систему.

4.3 Лица, участвующие в поверке конвертора должны проходить обучение и аттестацию по технике безопасности и производственной санитарии при работе в условиях испытательных стендов.

5 Условия поверки

5.1 При проведении поверки конверторов необходимо соблюдение следующих требований к условиям внешней среды:

- температура окружающей среды $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$;
- относительная влажность $(65 \pm 15) \%$;
- атмосферное давление (750 ± 30) мм рт.ст.

5.2 Параметры питающей сети:

- напряжение постоянного тока (220 ± 22) В
- частота (50 ± 5) Гц

6 Подготовка к поверке

6.1 Перед началом поверки конвертор должен быть предварительно прогрет в течение не менее 30 минут.

7 Проведение поверки

7.1 Внешний осмотр

7.1.1 При проведении внешнего осмотра устанавливается соответствие конвертора следующим требованиям:

- наличие свидетельства о предыдущей поверке;
- отсутствие видимых механических повреждений;
- наличие и прочность крепления органов коммутации, четкость фиксации их положений;
- чистота гнезд, разъемов и клейм;
- отсутствие механических и электрических повреждений.

7.1.2 Конвертор, не удовлетворяющий данным требованиям, бракуется и направляется в ремонт.

7.2 Опробование

7.2.1 Включить конвертор и дать прогреться в течение 30 минут.

7.2.2 Выполнить диагностирование в соответствии с технической документацией на конвертор.

7.2.3 Конвертор, не прошедший диагностирование, бракуется и направляется в ремонт.

8 Определение метрологических характеристик

8.1 Определение коэффициента передачи и неравномерности частотной характеристики коэффициента передачи

Определение коэффициента передачи и неравномерности частотной характеристики коэффициента передачи конверторов осуществляется при помощи генераторов сигналов высокочастотных Г4-158, Г4-176А, Г4-211, Г4-212, Г4-213, Г4-155 (в комплекте с КВП с 11 x 5,5 мм на 7/3), частотомера электронно-счетного ЧЗ-66, ваттметров поглощаемой мощности МЗ-90, МЗ-91, милливольтметра ВЗ-59, аттенюатора номиналом 6 дБ, калиброванных переходника с разъема 7/3 на разъем SMA и переходника с разъема SMA на разъем 7/3, калиброванного тройника.

Генераторы сигналов высокочастотные Г4-158, Г4-176А, Г4-211, Г4-212, Г4-213, Г4-155, частотомер электронно-счетный ЧЗ-66, ваттметры МЗ-90, МЗ-91, милливольтметр ВЗ-59 заземлить, подключить к сети электропитания, включить и прогреть в течение времени, указанном в Руководствах по их эксплуатации.

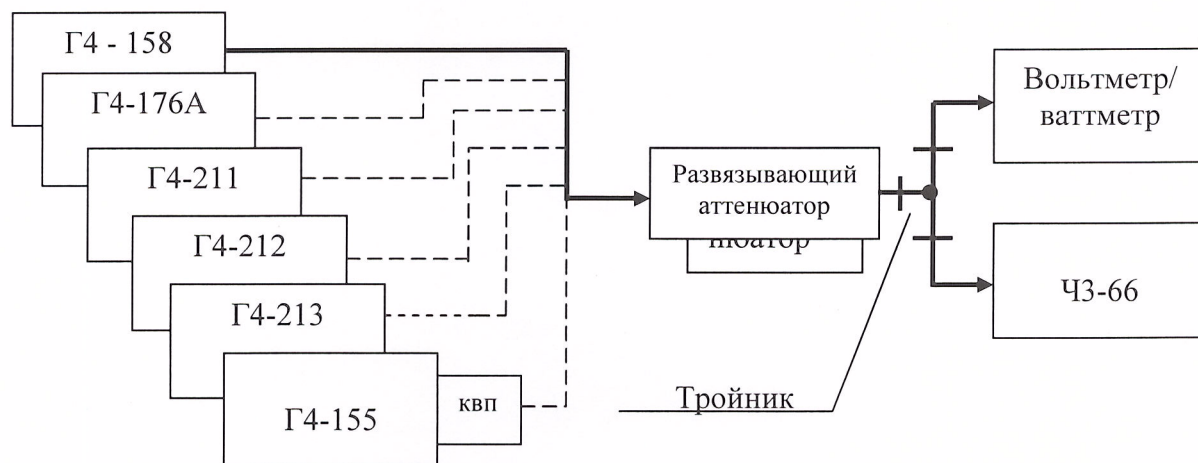


Рис. 1.

Выход генератора Г4-158 через аттенюатор номиналом 6 дБ посредством высокочастотного кабеля и тройника подключить к входу милливольтметра ВЗ-59 и частотомеру ЧЗ-66, как показано на рис. 1.

Частоту выходного сигнала генератора Г4-158 установить равной 10 кГц, уровень – 2,24 мВ (минус 40 дБ(мВт) или 10^{-7} Вт). Согласно Руководству по эксплуатации частотомера измерить частоту сигнала f_r (Гц); согласно Руководству по эксплуатации милливольтметра измерить уровень сигнала P_r (дБ(мВт)). Устанавливая частоту выходного сигнала генератора 20 кГц, 50 кГц, 100 кГц, 500 кГц, 1 МГц, фиксировать показания милливольтметра и частотомера.

Аналогично измерить частоты и уровни выходного сигнала генераторов Г4-176А (на частотах 2 МГц, 5 МГц, 10 МГц, 50 МГц, 100 МГц, 200 МГц, 500 МГц, 1000 МГц), Г4-211 (на частотах от 1,5 ГГц до 4 ГГц с шагом 500 МГц), Г4-212 (на частотах от 4,5 ГГц до 8 ГГц с шагом 500 МГц), Г4-213 (на частотах от 8,5 ГГц до 18 ГГц с шагом 500 МГц), Г4-155 (на частотах от 18,5 ГГц до 21 ГГц с шагом 500 МГц).

На частотах до 10 МГц включительно использовать милливольтметр ВЗ-59, на частотах до 17,5 ГГц включительно использовать ваттметр МЗ-90, на частотах свыше 17,5 ГГц использовать ваттметр МЗ-91.

Значения частот f_r и уровней P_r выходного сигнала генераторов записать в табл. 1.

Собрать схему согласно рис. 2.

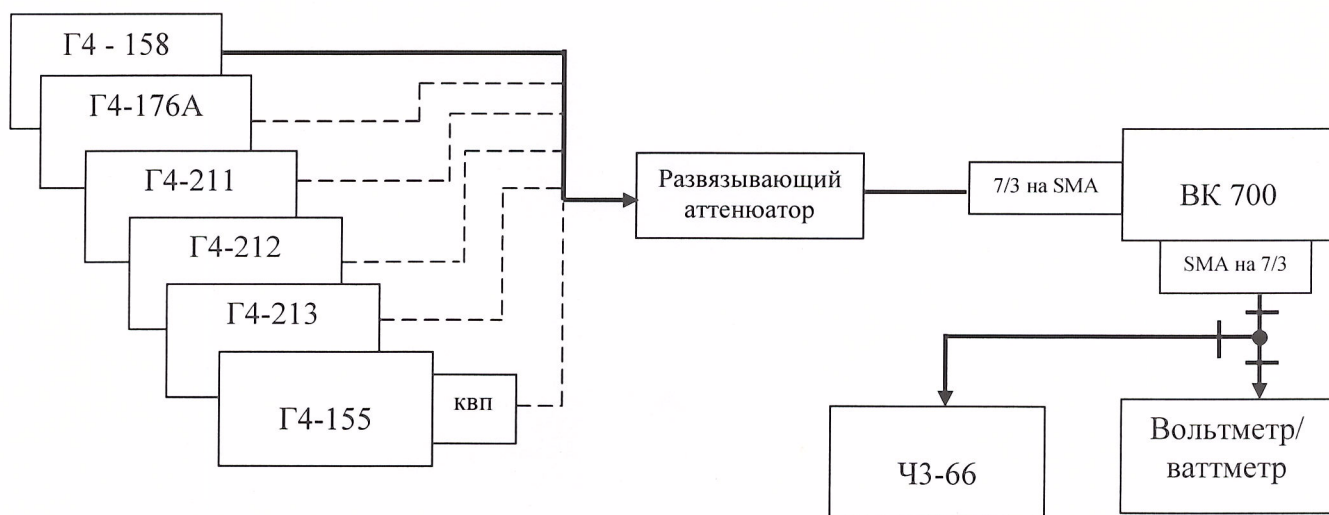


Рис. 2.

При помощи высокочастотного кабеля выход генератора Г4-158 через аттенуатор и переходник с разъема 7/3 на разъем SMA подключить к входу «IF IN» конвертора. Выход «IF OUT» конвертора через переходник с разъема SMA на разъем 7/3 и тройник посредством высокочастотного кабеля подключить к входу частотомера и милливольтметра.

Согласно Руководству пользователя конвертора установить следующие настройки «SETUP»:

- входной поддиапазон «RF 0»;
- выходной поддиапазон «IF 1»;
- сдвиг частоты гетеродина «OFS» 0 Гц;
- усиление «GAIN» 0 дБ;
- рабочий режим «MOD» – широкополосный «WBAND».

С генератора Г4-158 на вход «IF IN» конвертора подать сигнал частотой 10 кГц и уровнем минус 40 дБ(мВт). Измерить частоту f_K (МГц) и уровень P_K (дБ(мВт)) выходного сигнала конвертора.

Аналогично измерить частоты (с помощью ЧЗ-66) и уровни (с помощью ВЗ-59 и МЗ-90) выходного сигнала конвертора на частотах калибровки измерительного тракта.

Для диапазона частот от 10 кГц до 3 ГГц использовать вход «IF IN» конвертора и входной поддиапазон частот «RF 0». Для диапазона частот от 3 ГГц до 9 ГГц, от 9 ГГц до 15 ГГц, от 15 ГГц до 21 ГГц использовать вход «RF IN» и поддиапазоны «RF 1», «RF 2», «RF 3», соответственно.

Значения частот f_K и уровней P_K выходного сигнала конвертора записать в табл. 1.

Коэффициент передачи конвертора K_n (дБ) для каждого значения частоты входного сигнала рассчитать по формуле:

$$K_n = P_K + L_{\text{перВХ}} + L_{\text{перВЫХ}} + L_{\text{каб}} + L_{\text{тр}}^* - P_{\Gamma} - L_{\text{каб}} - L_{\text{тр}}, \quad (8.1.1)$$

где $L_{\text{перВХ}}$ – ослабление, вносимое переходом, установленным на входе конвертора, дБ;

$L_{\text{перВЫХ}}^*$ – ослабление, вносимое переходом, установленным на выходе конвертора, дБ;

$L_{\text{каб}}$ – ослабление высокочастотного кабеля на частотах от 10 кГц до 3 ГГц (частоты выходного сигнала конвертора), дБ;

$L_{\text{тр}}^*$ – ослабление, вносимое тройником на частотах выходного сигнала конвертора, дБ;

$L_{\text{каб}}$ – ослабление высокочастотного кабеля на частотах от 10 кГц до 21 ГГц, дБ;

$L_{\text{тр}}$ – ослабление, вносимое тройником на частотах от 10 кГц до 21 ГГц, дБ.

Значения коэффициента передачи записать в табл. 1.

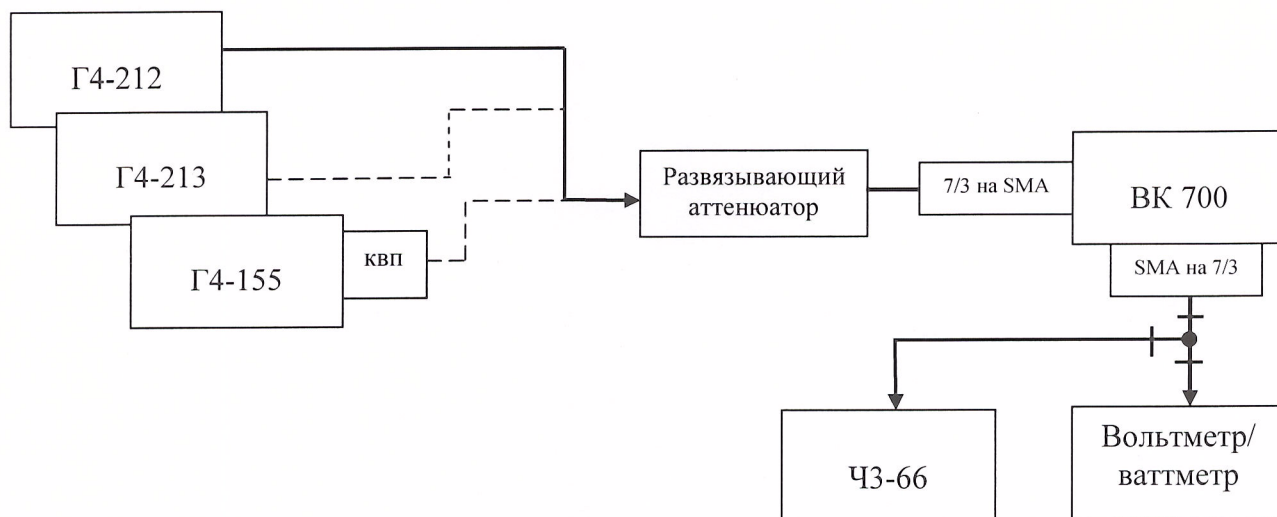


Рис. 3.

Коэффициент усиления K_{yN} (дБ) рассчитать по формуле:

$$K_{yN} = P_{0дБ} - P_{NдБ}, \quad (8.3.1)$$

где $P_{0дБ}$ – уровень сигнала на выходе конвертора при нулевом усилении, дБ(мВт);

$P_{NдБ}$ – уровень сигнала на выходе конвертора при значении коэффициента усиления, установленного в подменю «GAIN» N, дБ.

Погрешность установки коэффициента усиления δ (дБ) рассчитать по формуле:

$$\delta = K_{yнуСТ} - K_{yN}, \quad (8.3.2)$$

где $K_{yнуСТ}$ – значение коэффициента усиления, установленного в подменю «GAIN», дБ;

K_{yN} – измеренное значение коэффициента усиления, дБ.

Результаты поверки считать удовлетворительными, если пределы изменения коэффициента усиления составят от 0 до 30 дБ с дискретностью 1 дБ, а погрешность установки коэффициента усиления находится в пределах ± 1 дБ.

8.4 Определение частоты, диапазона изменения частоты и погрешности установки частоты гетеродина

Определение частоты, диапазона изменения частоты и погрешности установки частоты гетеродина осуществляется при помощи генераторов сигналов высокочастотных Г4-212, Г4-213, Г4-155 (в комплекте с КВП 11 x 5,5 мм на 7/3), частотомера электронносчетного ЧЗ-66, высокочастотного кабеля, переходников с разъема 7/3 на разъем SMA и с разъема SMA на разъем 7/3.

Собрать схему согласно рис. 4.

Выход генератора Г4-212 через развязывающий аттенуатор и переходник подключить к входу конвертора, выход конвертора через переходник подключить к входу частотомера ЧЗ-66.

Согласно Руководству пользователя конвертора установить следующие настройки «SETUP»:

- входной поддиапазон «RF 1»;
- выходной поддиапазон «IF 1»;
- сдвиг частоты гетеродина «OFS» 0 Гц;
- усиление «GAIN» 0 дБ;
- рабочий режим «MOD» – широкополосный «WBAND».

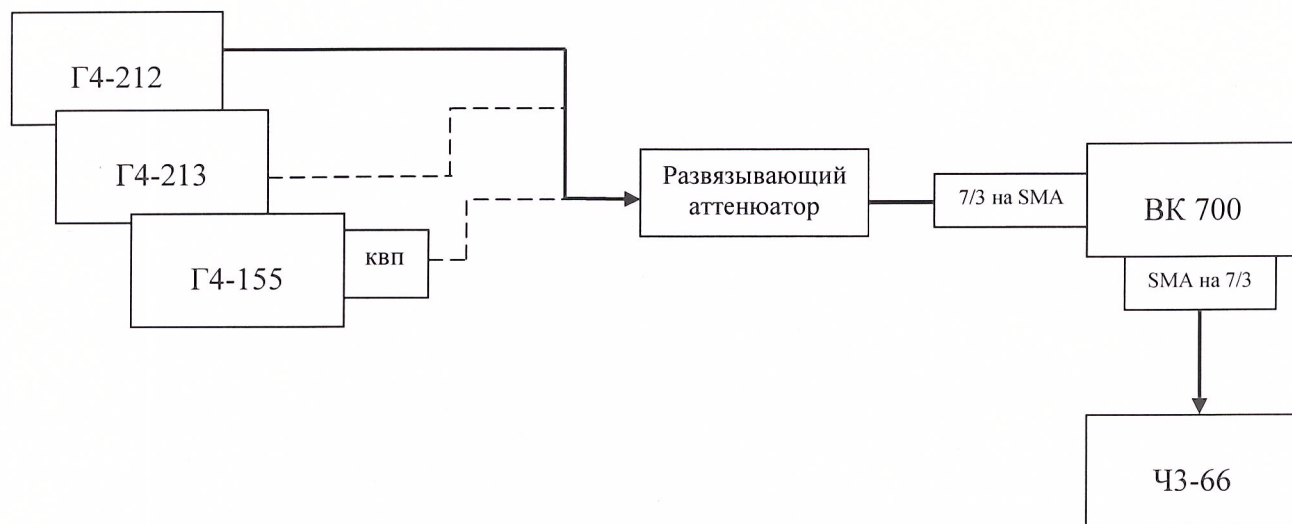


Рис. 4.

Частоту выходного сигнала генератора Г4-212 установить равной 3 ГГц, уровень сигнала – минус 40 дБ(мВт).

Измерить частоту выходного сигнала (сигнала ПЧ) конвертора.

Устанавливая частоту генератора Г4-212 равной 4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц, 7 ГГц, 8 ГГц фиксировать показания частотомера.

Аналогично измерить частоты выходного сигнала конвертора для значений частот генераторов Г4-213 (от 8 до 18 ГГц с шагом 1 ГГц), Г4-155 (19 ГГц, 20 ГГц, 21 ГГц).

Результаты измерений частот f_{K0} сигнала ПЧ конвертора записать в табл. 3.

Устанавливая сдвиг частоты гетеродина «OFS» ± 10 кГц, ± 100 кГц, ± 500 кГц, ± 1 МГц, ± 5 МГц, ± 10 МГц, ± 15 МГц измерить частоту выходного сигнала конвертора.

Результаты измерений частот ($f_{K1} \dots f_{K14}$) записать в табл.3.

Таблица 3.

$f_{\text{Г}}$									
$f_{\text{КОНВ}}$									
f_{K0}									
...									
f_{K14}									
$f_{\text{гет}0}$									
...									
$f_{\text{гет}14}$									
$\Delta f_{\text{гет}}^+$									
$\Delta f_{\text{гет}}^-$									
Δf									

Рассчитать значения частот гетеродина по формулам:

$$f_{\text{гет}N} = f_{KN} + f_z, \quad (8.4.1)$$

$$f_{\text{гет}N} = f_z - f_{KN}. \quad (8.4.2)$$

В формулах (8.4.1) и (8.4.2) значению частоты f_z присваивается значение частоты генератора, измеренное в п. 6.5.

Формула (8.4.1) справедлива в случае, когда частота гетеродина (6 ГГц, 12 ГГц, 18 ГГц – для соответствующего входного поддиапазона) больше частоты входного сигнала.

Формула (8.4.2) справедлива в случае, когда частота гетеродина меньше частоты входного сигнала.

Рассчитанные значения занести в табл. 3.

Границы диапазона изменения частоты гетеродина для каждого значения частоты генераторов рассчитать по формуле:

$$\Delta f_{\text{гет}}^+ = f_{\text{гет}13} - f_{\text{гет}1}, \quad (8.4.3)$$

$$\Delta f_{\text{гет}}^- = f_{\text{гет}14} - f_{\text{гет}1}, \quad (8.4.4)$$

где $f_{\text{гет}13}$ – частота гетеродина, рассчитанная по формулам (8.4.1), (8.4.2) для случая расстройки частоты гетеродина 15 МГц;

$f_{\text{гет}14}$ – частота гетеродина, рассчитанная по формулам (8.4.1), (8.4.2) для случая расстройки частоты гетеродина минус 15 МГц;

$f_{\text{гет}1}$ – частота гетеродина, рассчитанная по формулам (8.4.1), (8.4.2) для случая нулевой расстройки частоты гетеродина.

Рассчитанные значения занести в табл. 3.

Для рассчитанных по формулам (8.4.3) и (8.4.4) частот выбрать наименьшие значения – частоты, которыми ограничивается диапазон изменения частоты гетеродина.

Погрешность установки частоты гетеродина рассчитать по формуле:

$$\Delta f = f_{\text{гет}N} / f_{\text{гет}}^*, \quad (8.4.5)$$

где $f_{\text{гет}}^*$ – частота гетеродина для соответствующего поддиапазона (6 ГГц, 12 ГГц, 18 ГГц).

Рассчитанные значения занести в табл. 3.

Результаты поверки считать удовлетворительными, если частота гетеродина для поддиапазонов «RF 1», «RF 2», «RF 3» равна 6 ГГц, 12 ГГц, 18 ГГц, (в диапазоне частот входного сигнала от 6 ГГц до 9 ГГц, от 12 ГГц до 15 ГГц, от 18 ГГц до 21 ГГц частота гетеродина изменяется по закону $f_{\text{гет}} = 2f_{\text{с}} - f_{\text{гет}}^*$) соответственно, диапазон изменения частоты гетеродина ± 15 МГц, а погрешность установки частоты находится в пределах $0,25 \cdot 10^{-6}$.

8.5 Определение уровня побочных гармонических составляющих в спектре выходного сигнала

Определение уровня побочных гармонических составляющих в спектре выходного сигнала осуществляется по методике, изложенной в п. 8.1 настоящего документа, при условии, что на вход конвертора подается сигнал уровнем минус 43 дБ(мВт). Причем уровень сигнала контролируется при помощи анализатора спектра С4-85.

Ширину полос обзора и пропускания анализатора спектра С4-85 устанавливать согласно табл. 5.

Таблица 5.

Полоса обзора	Ширина полосы пропускания
от 5 кГц до 150 кГц	300 Гц
от 150 кГц до 20 МГц	30 кГц
от 30 МГц до 1000 МГц	1 МГц
от 1 ГГц до 10,5 ГГц	10 МГц
от 9,5 ГГц до 21,5 ГГц	10 МГц

С помощью анализатора спектра фиксировать уровень выходного сигнала $P_{\text{осн}}(\text{дБ(мВт)})$, а так же уровень побочных гармонических составляющих $P_{\text{пс}}(\text{дБ(мВт)})$.

Вычислить отношение K (дБ) уровня побочных составляющих к уровню основного выходного сигнала по формуле:

$$K = P_{\text{пс}} - P_{\text{осн}}. \quad (8.5.1)$$

Результаты поверки считать удовлетворительными, если отношение уровня побочных гармонических составляющих в спектре выходного сигнала к уровню основного выходного сигнала конвертора не менее минус 58 дБ.

8.6 Определение коэффициента шума

Определение коэффициента шума осуществляется при помощи генератора шума Г2-59 и генераторов шума, входящих в состав измерителей коэффициента шума Х5-23, Х5-24, Х5-25, Х5-26, Х5-27, а также анализатора спектра С4-85, генераторов сигналов высокочастотных Г4-158, Г4-176А, Г4-211, Г4-212, Г4-213, Г4-155, калиброванных переходников с разъема 7/3 на разъем SMA и с разъема SMA на разъем 7/3, высокочастотного кабеля.

Генератор шума Г2-59 и генератор Г4-158 с помощью тройника и высокочастотного кабеля подключить к входу анализатора спектра. Частоту выходного сигнала генератора Г4-158 установить равной 10 кГц, уровень сигнала – минус 40 дБ(мВт), уровень шумового сигнала на выходе Г2-59 установить не менее чем на 30 дБ ниже уровня выходного сигнала генератора Г4-158.

Анализатором спектра С4-85 измерить отношение мощности сигнала генератора Г4-158 и средней мощности шумов K_1 (дБ).

Генератор шума и генератор сигналов Г4-158 с помощью переходника с разъема 7/3 на разъем SMA подключить к входу конвертора. Выход конвертора с помощью переходника с разъема SMA на разъем 7/3 подключить к входу анализатора спектра. Анализатором спектра измерить отношение мощности сигнала генератора Г4-158 и средней мощности шумов K_2 (дБ) на выходе конвертора.

Коэффициент шума $K_{ш}$, дБ, конвертора рассчитать по формуле:

$$K_{ш} = K_1 - K_2.$$

Аналогично с помощью соответствующих генераторов шума и высокочастотных сигналов измерить коэффициент шума конвертора на частотах 10 МГц, 100 МГц, 500 МГц, 1 ГГц, 2 ГГц, 5 ГГц, 10 ГГц, 15 ГГц, 21 ГГц.

Результаты поверки считать удовлетворительными, если значение коэффициента шума конвертора не превышает 13 дБ.

9 Оформление результатов проведения поверки

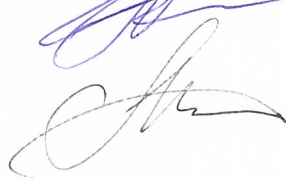
9.1 Результаты поверки оформляются протоколами.

9.2 При положительных результатах поверки оформляется Свидетельство о поверке с указанием полученных метрологических и технических характеристик.

9.3 При отрицательных результатах поверки каналы бракуются и выдается извещение о непригодности.

Заместитель начальника отдела
ГЦИ СИ "Воентест" 32 ГНИИ МО РФ

Младший научный сотрудник
ГЦИ СИ "Воентест" 32 ГНИИ МО РФ

 И.М. Малай
 М.С. Шкуркин