

УТВЕРЖДАЮ

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



А.Н. Щипунов

15 »

04

2015 г.

Инструкция

Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 0.5-40.0 Д 065

Методика поверки

ТМСА 065.040. 00Д МП

н.р. 60919-15

2015 г.

Содержание

1 Вводная часть	3
2 Операции поверки	3
3 Средства поверки	4
4 Требования к квалификации поверителей	4
5 Требования безопасности	4
6 Условия поверки	5
7 Подготовка к проведению поверки	5
8 Проведение поверки	5
8.1 Внешний осмотр	5
8.2 Опробование	6
8.3 Определение метрологических характеристик	7
9 Оформление результатов поверки	12

1 ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок комплекса автоматизированного измерительно-вычислительного ТМСА 0.5-40.0 Д 065, заводской № 065 (далее – комплекс).

Первичная поверка комплекса проводится при вводе его в эксплуатацию и после ремонта. Периодическая поверка комплекса проводится в ходе его эксплуатации и хранения.

1.2 Комплекс предназначен для измерений радиотехнических характеристик антенн.

1.3 Поверка комплекса проводится не реже одного раза в 24 (двадцать четыре) месяца и после каждого ремонта.

2 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

При проведении поверки комплекса должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Пункт МП	Проведение операций при	
		первичной поверке	периодической поверке
Внешний осмотр	8.1.	+	+
Опробование	8.2	+	+
Определение метрологических характеристик	8.3	+	+
3.1 Определение относительной погрешности измерений частоты	8.3.1	+	+
3.2 Определение динамического сверхширокополосного (СШП) приемного устройства и энергетического потенциала комплекса	8.3.2	+	+
3.3 Определение погрешности измерений уровней спектральных составляющих сигналов	8.3.3	+	+
3.4 Определение коэффициента усиления малошумящих усилителей (МШУ)	8.3.4	+	+

3 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки комплекса должны быть применены средства измерений, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства измерений для поверки комплекса

Пункт МП	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки
8.2, 8.3	ПЭВМ Intel Core 2 Duo (не старше) с операционной системой Windows, имеющий: процессор с тактовой частотой не менее 1,8 ГГц; объем оперативной памяти не менее 1 Гбайт; объем свободной памяти на жестком диске не менее 1 Гбайт для сохранения данных измерений; дисплей типа SVGA с экраном не менее 15,4”
8.3.1	Генератор сигналов Agilent N5183A, регистрационный № 40965-09, диапазон частот от 0,1 МГц до 40 ГГц, диапазон установки выходной мощности от минус 20 до 7 дБм, пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты $\pm 2,1 \times 10^{-6}$
8.3.2, 8.3.3, 8.3.4	Аттенюатор ступенчатый программируемый Agilent 84908M, регистрационный № 60239-15, диапазон частот от 0 до 50 ГГц, диапазон вводимых ослаблений от 0 до 65 дБ с шагом 5 дБ Аттенюаторы фиксированные с номиналами ослаблений 3, 6, 10, 20 дБ, тип коаксиального тракта РС-2,92, КСВН не более 1,5 Анализатор цепей векторный N5224A, диапазон рабочих частот от 0,01 до 43,5 ГГц, пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты $\pm 1 \cdot 10^{-6}$, уровень гармонических составляющих в выходном сигнале не более минус 15 дБ, диапазон мощности выходного сигнала от минус 30 до 16 дБм, пределы допускаемой относительной погрешности измерений модуля коэффициента передачи в диапазоне от минус 49,99 до 10 дБ - $\pm 0,9$ дБ, пределы допускаемой относительной погрешности измерений модуля коэффициента отражения в диапазоне от минус 24,99 до 0 дБ - $\pm 1,63$ дБ

3.2 Допускается использовать аналогичные средства поверки, которые обеспечивают измерения соответствующих параметров с требуемой точностью.

3.3 Средства поверки должны быть исправны, поверены и иметь свидетельства о поверке.

4 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ

4.1 Поверка должна осуществляться лицами, аттестованными в качестве поверителей в области радиотехнических измерений порядке установленном в ПР 50.2.012-94 «ГСИ. Порядок аттестации поверителей средств измерений» и имеющим квалификационную группу электробезопасности не ниже третьей.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документом «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 0.5-40.0 Д 065. Руководство по эксплуатации. ТМСА 065.040. 00Д РЭ».

5 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1 При проведении поверки должны быть соблюдены все требования безопасности в соответствии с ГОСТ 12.3.019-80 «ССБТ. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности», а также требования безопасности, приведённые в эксплуатационной документации на составные элементы комплекса и средства поверки.

5.2 Размещение и подключение измерительных приборов разрешается производить только при выключенном питании.

6 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки комплекса должны соблюдаться условия, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Условия проведения поверки комплекса

Влияющая величина	Нормальное значение	Допускаемое отклонение от нормального значения
Температура окружающей среды, °С	20	± 5
Относительная влажность воздуха, %	от 40 до 80	–
Атмосферное давление, кПа	от 84 до 106,7	–
Напряжение питающей сети переменного тока, В	220	± 22
Частота питающей сети, Гц	50	± 1

7 ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ПОВЕРКИ

7.1 Проверить наличие эксплуатационной документации и срок действия свидетельств о поверке на средства поверки.

7.2 Подготовить средства поверки к проведению измерений в соответствии с руководствами по их эксплуатации.

8 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

8.1 Внешний осмотр

8.1.1 При проведении внешнего осмотра комплекса проверить:

- комплектность и маркировку комплекса;
- наружную поверхность элементов комплекса, в том числе управляющих и питающих кабелей;
- состояние органов управления;

8.1.2 Проверку комплектности комплекса проводить сличением действительной комплектности с данными, приведенными в разделе «Комплект поставки» документа «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 0.5-40.0 Д 065. Паспорт. ТМСА 065.040. 00Д ПС» (далее – ПС).

8.1.3 Проверку маркировки производить путем внешнего осмотра и сличением с данными, приведенными в ПС.

8.1.4 Результаты внешнего осмотра считать положительными, если:

- комплектность и маркировка комплекса соответствует ПС;
- наружная поверхность комплекса не имеет механических повреждений и других дефектов;
- управляющие и питающие кабели не имеют механических и электрических повреждений;
- органы управления закреплены прочно и без перекосов, действуют плавно и обеспечивают надежную фиксацию;
- все надписи на органах управления и индикации четкие и соответствуют их функциональному назначению.

В противном случае результаты внешнего осмотра считать отрицательными и последующие операции поверки не проводить.

8.2 Опробование

8.2.1 Идентификация соответствия программного обеспечения (далее – ПО)

8.2.1.1 Включить персональные компьютеры (далее – ПК), для чего:

- на блоке источника бесперебойного питания нажать кнопку ВКЛ;
- нажать на системном блоке ПК кнопку включения;
- включить монитор.

Установить на ПК программу, позволяющую определять версию и контрольную сумму файла по алгоритму MD5, например программу **«HashTab»**.

8.2.1.2 Выбрать в папке **TRIM** файл **NFCalc.exe**, нажать на правую кнопку мыши на файле и выбрать пункт **«Свойства»**. Открыть вкладку **«Хеш-суммы файлов»**. Наблюдать контрольную сумму файла **NFCalc.exe** по алгоритму MD5. Открыть вкладку **«О программе»**. Наблюдать значение версии файла **NFCalc.exe**. Результаты наблюдения зафиксировать в рабочем журнале.

8.2.1.3 Повторить операции п. 8.2.1.2 для программ **AmrView.exe** и **NFMeas.exe**.

8.2.1.4 Сравнить полученные контрольные суммы и версии с их значениями, записанными в ФО. Результат сравнения зафиксировать в рабочем журнале.

8.2.1.5 Результаты идентификации соответствия ПО считать положительными, если полученные идентификационные данные ПО соответствуют значениям, записанным в ПС.

В противном случае результаты проверки соответствия ПО считать отрицательными и последующие операции поверки не проводить.

8.2.2 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ.

8.2.2.1 Проверить работоспособность аппаратуры комплекса путем проверки отсутствия сообщений об ошибках и неисправностях при загрузке программного продукта «Программа проведения измерений во временной области».

8.2.2.2 Проверить работоспособность всех приводов ОПУ:

- слайдер;
- азимутальное поворотное устройство;
- угломестное поворотное устройство.

8.2.2.3 Установить в рабочей зоне тестовую антенну с электрическими размерами апертуры не менее 3λ (для произвольной частоты) (где λ – длина волны, м). Провести измерения сечений диаграммы направленности (ДН) и поляризационной диаграммы на рабочей длине волны антенны не менее трех раз с перерывом 10 мин.

8.2.2.4 Минимальные измеренные уровни задних и боковых лепестков ДН должны быть не более минус 20 дБ, минимальный измеренный уровень поляризационной диаграммы – не более минус 25 дБ (для тестовой антенны с линейной поляризацией).

Многократно измеренные сечения ДН и поляризационных диаграмм не должны иметь значимых отклонений друг от друга в области главного и первых боковых лепестков и находится в пределах инструментальной погрешности комплекса.

8.2.2.5 Результаты испытаний считать положительными, если аппаратура комплекса работоспособна и обеспечивает измерения характеристик антенн.

8.3 Определение метрологических характеристик

8.3.1 Определение относительной погрешности измерений частоты

8.3.1.1 Подготовить комплекс и генератор сигналов N5183A к работе в соответствии с их РЭ.

8.3.1.2 Подать на вход синхронизации СШП приемного устройства TMR 8140 опорную частоту с соответствующего выхода генератора N5183A. Подключить выход генератора N5183A к входу выносного смесителя СШП приемного устройства TMR 8140 согласно схеме, приведенной на рисунке 2.

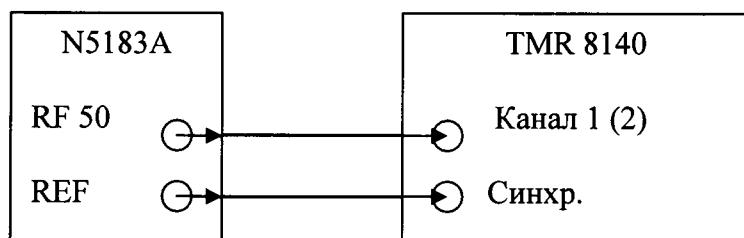


Рисунок 2

8.3.1.3 Включить внешний запуск стробоскопического преобразователя со следующими параметрами:

- уровень внешнего запуска минус 1,0 В;
- делитель внешнего запуска 128.

8.3.1.4 Установить на генераторе сигналов N5183A режим генерирования немодулированного гармонического сигнала частотой $f_0 = 0,5$ ГГц с уровнем выходной мощности 5 дБм.

Установить временную развертку стробоскопического преобразователя равной N/f_0 , где N равно от 20 до 40, задержку равной 0 с, количество временных отсчетов $k_0 = 2048$, количество усреднений сигнала 128.

Записать сигнал на входе стробоскопического преобразователя в память программы, далее сохранить его на ПЭВМ в формате «txt».

8.3.1.5 Обработку сигналов производить в программных пакетах Mathcad или MatLab.

Подвергнуть записанный сигнал расширенному БПФ с количеством точек 2^{18} , для устранения разрывов сигнала на краях развертки применить сглаживающую оконную функцию на основе окна Хана (рисунок 3).

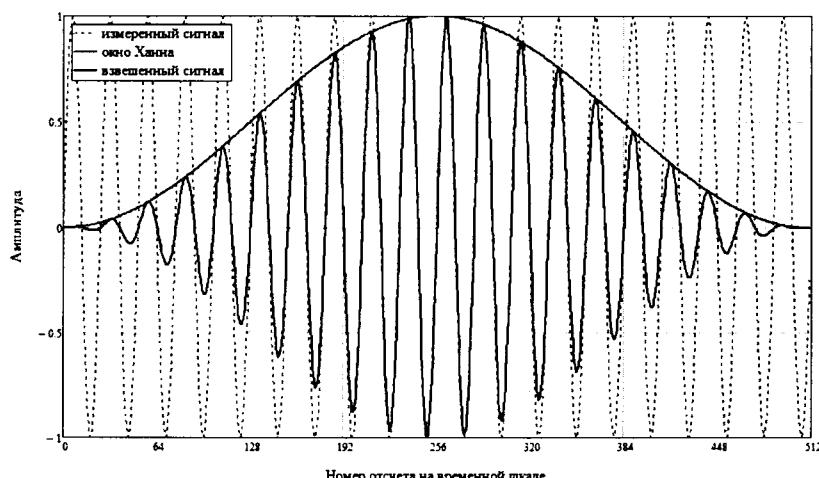


Рисунок 3 – Пример обработки измеренного сигнала во временной области

В полученном частотном спектре (рис. 4) выделить спектральную составляющую максимального уровня, определить соответствующую ей частоту по формуле (1).

$$f_c = \frac{f_0 \cdot x \cdot k_0}{N \cdot k_p}, \quad (1)$$

где k_p - количество отсчетов в расширенном БПФ;
 x - номер отсчета в спектре, соответствующей гармонике с максимальным уровнем.

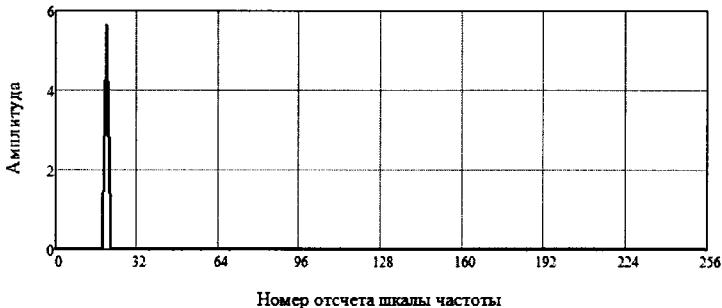


Рисунок 4 – Пример обработки измеренного сигнала в частотной области

Рассчитать относительную погрешность измерений частоты сигнала по формуле (2):

$$\Delta f = \frac{f_0 - f_c}{f_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

8.3.1.6 Повторить операции пп. 8.3.1.4-8.3.1.5 для $f_0 = 3; 10; 20$ и 40 ГГц.

8.3.1.7 Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений частоты сигнала Δf находятся в пределах $\pm 0,1\%$.

8.3.2 Определение динамического диапазона СШП приемного устройства и энергетического потенциала комплекса

8.3.2.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ.

8.3.2.2 Подключить СШП передающее устройство TMG 020020VN01 (измерения для высокочастотного и низкочастотного каналов проводить поочередно) к входу выносного смесителя СШП приемного устройства TMR 8140. Для ослабления сигнала с выхода передатчика использовать коаксиальные аттенюаторы с фиксированным ослаблением, амплитуда импульса на входе смесителя должна составлять от (0,5 - 0,7) В.

8.3.2.3 Установить временную развертку $T_{РАЗВ}$ СШП приемного устройства TMR 8140 равной (0,5 – 2) нс в зависимости от формы сигнала, количество временных отсчетов 2048, количество усреднений сигнала 256. Фронт импульсного сигнала установить с задержкой, соответствующей 1/5 ширины временной развертки. Записать сигнал $s(nT)$ на выходе стробоскопического преобразователя в память ПЭВМ.

8.3.2.4 Вход выносного смесителя нагрузить на согласованную нагрузку. Записать шумовые сигналы на входе стробоскопического преобразователя в память ЭВМ в текстовом формате для количества усреднений, равном 16, 64, 128 и 256 ($N_{16}(nT)$, $N_{64}(nT)$, $N_{128}(nT)$ и $N_{256}(nT)$, соответственно).

8.3.2.5 Обработку сигналов производить в программных пакетах Mathcad или MatLab.

Компенсировать смещение по напряжению путем вычитания математического ожидания амплитуды шума по первым 100 отсчетам записанных сигналов в соответствии с формулой (3):

$$a'(nT) = a(nT) - \sum_{n=0}^{99} \frac{a(nT)}{100}, \quad (3)$$

где $a(nT)$ - сигнальные массивы $s(nT)$, $N_{16}(nT)$, $N_{64}(nT)$, $N_{128}(nT)$ и $N_{256}(nT)$, В.

8.3.2.6 Динамический диапазон СШП приемного устройства TMR 8140 для разного количества усреднений сигнала рассчитать по формуле (4):

$$D = -20 \lg \left(\frac{1}{2048} \sum_{n=0}^{2047} |N(nT)| \right) - 3, \text{ дБ,} \quad (4)$$

где в качестве $N(nT)$ поочередно принимаются $N_{16}(nT)$, $N_{64}(nT)$ и $N_{256}(nT)$.

8.3.2.7 Энергетический потенциал комплекса для разного количества усреднений сигнала рассчитать по формуле (5):

$$E(nf) = A_{\text{ATT}} + 20 \lg \left| \frac{F^{+1}\{s(nT)\}}{F^{+1}\{N_{128}(nT)\}} \right|, \quad (5)$$

где $nf = n / T_{PAZB}$, с;

$F^{+1}\{\dots\}$ - символ прямого БПФ.

8.3.2.8 Результаты испытаний считать положительными, если для заданного количества усреднений сигнала динамический диапазон стробоскопического преобразователя составляет не менее:

для 16 усреднений – 59 дБ;

для 64 усреднений – 65 дБ;

для 256 усреднений – 71 дБ,

а энергетический потенциал при 128 усреднениях сигнала составляет не менее:

смеситель №1

низкочастотный канал в диапазоне частот от 0,5 до 18 ГГц

77

высокочастотный канал в диапазоне частот от 8 до 32 ГГц

$-0,9f + 85$

высокочастотный канал в диапазоне частот выше 32 ГГц

56

смеситель №2

где f - частота, ГГц

низкочастотный канал в диапазоне частот от 0,5 до 18 ГГц

80

высокочастотный канал в диапазоне частот от 8 до 35 ГГц

$-1,2f + 93$

высокочастотный канал в диапазоне частот выше 35 ГГц

51

8.3.3 Определение погрешности измерений отношений уровней спектральных составляющих сигналов

8.3.3.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ.

8.3.3.2 Подключить к входу выносного смесителя СШП приемного устройства TMR 8140 генераторный модуль (высокочастотный канал) через программируемый аттенюатор 84908М.

В случае, если амплитуда сигнала на входе приемного устройства при нулевом ослаблении программируемого аттенюатора превышает 0,7 В, установить в тракт передачи сигнала дополнительные фиксированные аттенюаторы для достижения величины амплитуды сигнала (0,5 - 0,7) В.

8.3.3.3 Установить временную развертку T_{PAZB} СШП приемного устройства TMR 8140 равной 0,5...2 нс в зависимости от формы сигнала, количество временных отсчетов 2048, количество усреднений сигнала 512. Фронт импульсного сигнала установить с задержкой, соответствующей 1/5 ширины временной развертки.

8.3.3.4 Выполнить автоматическую калибровку каналов стробоскопического преобразователя согласно РЭ.

8.3.3.5 Записать сигналы $s_A(nT)$ на входе стробоскопического преобразователя в память ЭВМ в текстовом формате поочередно для ослаблений A программируемого аттенюатора 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 и 45 дБ.

8.3.3.6 Обработку сигналов производить в программных пакетах Mathcad или MatLab.

Совместить измеренные сигналы по характерным точкам путем добавления нулевых отсчетов в начале сигнальных массивов.

Подвергнуть записанные сигналы БПФ, для устранения разрывов сигнала на краях развертки применить сглаживающую оконную функция на основе окна Ханна с длительностью «единичного» участка от фронта импульсного сигнала до его спада по уровню 0,1 (рис. 5). Построить нормированную амплитудную характеристику стробоскопического преобразователя в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц с шагом по частоте равным $1/T_{\text{ПАЗВ}}$.

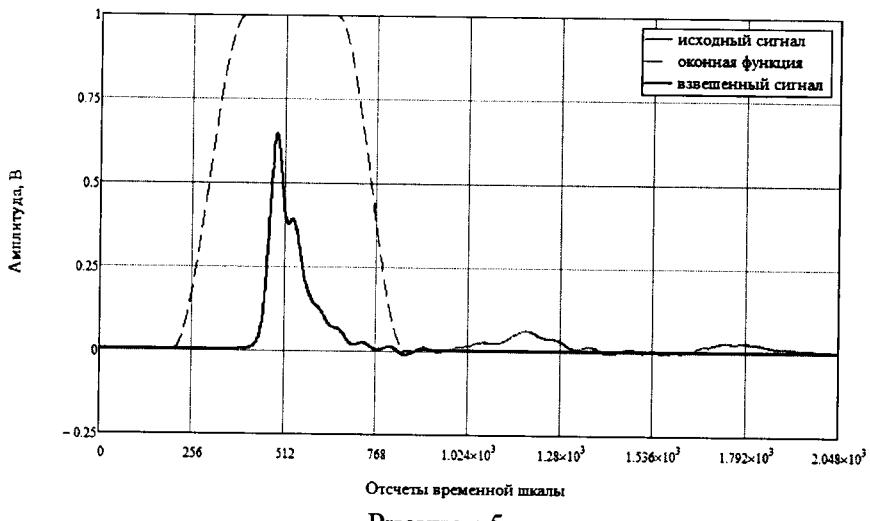


Рисунок 5

8.3.3.7 Подключить программируемый аттенюатор 84908М к векторному анализатору цепей N5224A. Провести измерения величин вводимого относительного ослабления (без учета собственно ослабления аттенюатора) аналогично п. 8.3.3.5 в соответствии с РЭ на анализатор. Измерения проводить с шагом по частоте $1/T_{\text{ПАЗВ}}$ в диапазоне частот от 0,5 до 40 ГГц, выходная мощность источника должна иметь значение, устанавливаемое по умолчанию, при ослаблении минус 45 дБ должно обеспечиваться отношение сигнал/шум не менее 40 дБ.

Зафиксировать результаты измерений $B_{0dB}(nf)$, $B_{-5dB}(nf)$... $B_{-45dB}(nf)$ в памяти ПЭВМ в текстовом формате.

8.3.3.8 Инструментальную погрешность измерений для каждого номинального ослабления в рабочем диапазоне частот рассчитать по формуле (6):

$$\Delta_H(nf) = [A_{0dB}(nf) - A_{xdB}(nf)] - [B_{0dB}(nf) - B_{xdB}(nf)], \text{ дБ}, \quad (6)$$

где $A_{xdB}(nf)$ и $B_{xdB}(nf)$ - результаты измерений $A_{-5dB}(nf)$, $A_{-10dB}(nf)$... $A_{-45dB}(nf)$ и $B_{-5dB}(nf)$, $B_{-10dB}(nf)$... $B_{-45dB}(nf)$, соответственно, дБ.

В качестве инструментальной погрешности $\bar{\Delta}_H$ для каждого номинального ослабления принять среднее значение модуля $\Delta_H(nf)$ в диапазоне частот (7):

$$\bar{\Delta}_H = \frac{1}{n} \sum_n |\Delta_H(nf)|. \quad (7)$$

Значение $\bar{\Delta}_H$, полученное для ослабления минус 5 дБ считать тождественным значению для ослабления минус 3 дБ.

8.3.3.9 Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений отношений уровней спектральных составляющих сигналов находятся в пределах, приведенных в таблице 4.

Таблица 4

Уровень спектральной составляющей сигнала, дБ	Пределы допускаемой погрешности измерений отношений уровней спектральных составляющих сигналов в диапазоне частот, ГГц	
	от 0,5 до 26,5	свыше 26,5 до 40
минус 3	± 0,2	± 0,2
минус 5	± 0,3	± 0,3
минус 10	± 0,4	± 0,5
минус 15	± 0,5	± 0,7
минус 20	± 0,6	± 0,9
минус 25	± 0,8	± 1,1
минус 30	± 1,0	± 1,3
минус 35	± 1,2	± 1,5
минус 40	± 1,4	± 1,7
минус 45	± 1,6	± 2,0

8.3.4 Определение коэффициента усиления МШУ

8.3.4.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ.

8.3.4.2 Измерения проводить для низкочастотного и высокочастотного каналов двухканального малошумящего усилителя поочередно.

Подключить высокочастотный канал СШП передающего устройства из состава комплекса к входу выносного смесителя СШП приемного устройства через программируемый аттенюатор 84908М. Установить ослабление аттенюатора равным 40 дБ.

8.3.4.3 Установить временную развертку $T_{РАЗВ}$ СШП приемного устройства равной 0,5...2 нс, количество временных отсчетов 2048, количество усреднений сигнала 128. Фронт импульсного сигнала установить с задержкой, соответствующей 1/5 ширины временной развертки.

8.3.4.4 Уменьшить величину вносимого аттенюатором ослабления добиться амплитуды сигнала в пределах 0,3...0,6 В. Сохранить сигнал $s_0(nT)$ на входе стробоскопического преобразователя в память ПЭВМ в текстовом формате, зафиксировать ослабление аттенюатора A_0 .

8.3.4.5 Установить ослабление аттенюатора до величины $A_0 + 30$ дБ.

Включить в тракт перед входом выносного смесителя МШУ.

Уменьшить величину вносимого аттенюатором ослабления добиться амплитуды сигнала в пределах 0,3...0,6 В.

Сохранить сигнал $s_{MШУ}(nT)$ на входе стробоскопического преобразователя в память ПЭВМ, зафиксировать ослабление аттенюатора $A_{MШУ}$.

8.3.4.6 Компенсировать смещение по напряжению путем вычитания математического ожидания амплитуды шума по первым 100 отсчетам записанных сигналов в соответствии с формулой (3).

Коэффициент усиления МШУ рассчитать по формуле (21):

$$K(nf) = A_{MШУ} - A_0 + 20 \lg \left| \frac{F^{+1} \{ s_{MШУ}(nT) \}}{F^{+1} \{ s_0(nT) \}} \right|, \quad (21)$$

8.3.4.7 Результаты поверки считать положительными, если:

- коэффициент усиления низкочастотного канала составляет не менее 16 дБ,
- коэффициент усиления высокочастотного канала составляет не менее 18 дБ.

9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

9.1 Комплекс признается годным, если в ходе поверки все результаты поверки положительные.

9.3 На комплекс, признанный годным, выдается в Свидетельство о поверке в соответствии с ПР 50.2.006-94.

9.4 Комплекс, имеющий отрицательные результаты поверки, в соответствии с ПР 50.2.006-94 в обращение не допускается и на него выдается Извещение о непригодности к применению с указанием причин непригодности.

Начальник НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

О.В. Каминский