

**ЭЛЕКТРОНИКА**

УДК 621.317.846

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЯ ФЛУКТУАЦИЙ СИГНАЛОВ КВЧ**

А.Я. БЕЛЬСКИЙ, А.Б. ДЗИСЯК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 18 мая 2005*

Проведены исследования метрологических параметров измерителя флуктуаций сигналов КВЧ в режимах измерения амплитудных, частотных и вносимых фазовых флуктуаций при двух методах калибровки прибора. Погрешность измерения флуктуаций при использовании блока калибровки определяется погрешностью установки и измерения параметров модуляции калибровочного КВЧ сигнала спектральными методами. Использование предложенного блока калибровки позволяет практически исключить систематическую погрешность измерителя, зависящую от частоты анализа, и уменьшить случайную составляющую погрешности, зависящую от величины входного сигнала. Определены чувствительности измерений трех видов флуктуаций сигналов КВЧ с помощью разработанного измерителя флуктуаций MNM 78-118.

*Ключевые слова:* измерение флуктуаций сигналов КВЧ, калибровка измерителя флуктуаций, модуляционный метод, погрешность, чувствительность измерения.

**Введение**

При разработке современных радиотехнических систем связи и телекоммуникации необходимо знать уровни амплитудных и частотных флуктуаций используемых источников сигнала. В испытательной лаборатории аппаратуры и устройств СВЧ БГУИР разработан автоматический измеритель амплитудных, частотных и вносимых фазовых флуктуаций сигналов КВЧ диапазона. Для измерителя флуктуаций разработаны два метода проведения калибровки. Первый метод заключается в определении значений параметров отдельных функциональных частей измерителя и аргументов, участвующих в выражении для вычисления относительной спектральной плотности мощности шумов. Второй модуляционный метод использует разработанный блок калибровки [1, 2]. В данной работе проводится экспериментальное исследование метрологических характеристик разработанного измерителя флуктуаций MNM 78-118 и экспериментальная оценка чувствительностей измерения амплитудных и частотных флуктуаций сигналов КВЧ и вносимых фазовых флуктуаций активных КВЧ устройств.

**Экспериментальные исследования**

Экспериментальные исследования метрологических характеристик измерителя флуктуаций выполнялись следующим образом.

Проводилась калибровка измерителя флуктуаций двумя методами. При калибровке измерителя флуктуаций в соответствии с первым методом определялись значения коэффициента,

характеризующего форму детекторной характеристики амплитудного детектора в рабочих условиях, крутизны преобразования частотного дискриминатора, а также, коэффициента преобразования фазового детектора в рабочих условиях. Дополнительно определялся уровень собственных шумов измерительной системы в целом, проводилась калибровка используемых алгоритмов быстрого преобразования Фурье применительно к задачам измерения параметров флуктуаций сигналов КВЧ и низкочастотного блока обработки измерительной информации.

С помощью разработанного блока калибровки формировался тестовый КВЧ сигнал с амплитудной или угловой модуляцией [1]. Значение коэффициента амплитудной модуляции  $m_{AM}$  и индекса угловой модуляции  $m_{ЧМ}$  или  $m_{ФМ}$  определялось с помощью КВЧ анализатора спектра.

Далее проводилось измерение параметров соответствующей модуляции тестового КВЧ сигнала в трех режимах измерения флуктуаций с помощью разработанного измерителя флуктуаций. Проведение измерений осуществлялось для ряда значений частоты модуляции  $F_M$  в диапазоне значений 20–200 кГц, для различных значений коэффициента амплитудной модуляции и индексов угловой модуляции, т.е. при различных значениях уровня боковых составляющих спектра тестового КВЧ сигнала в диапазоне значений –55...–105 дБ, и при различных вариантах настройки измерителя флуктуаций. Исследовалось влияние автоматической и ручной установки коэффициентов усиления каналов обработки постоянной и переменной составляющих выходного напряжения детектора (шесть ступеней усиления по 14 дБ), различных сочетаний значений частоты дискретизации блока АЦП  $F_d$  в диапазоне 100 кГц–2 МГц и количества информационных точек  $N$  в диапазоне 2048–32768.

Определялось значение ошибки измерения при двух методах калибровки измерителя флуктуаций Error1 и Error2 по отношению к установленным значениям параметров модуляции тестового КВЧ сигнала. Вычислялись средние значения ошибок измерений и среднеквадратических отклонений (СКО) результатов измерений в зависимости от значения частоты модуляции и значения параметров соответствующей модуляции.

На рис. 1 представлены результаты экспериментальных исследований метрологических параметров измерителя флуктуаций в режиме измерения амплитудных шумов сигналов КВЧ при двух методах его калибровки.

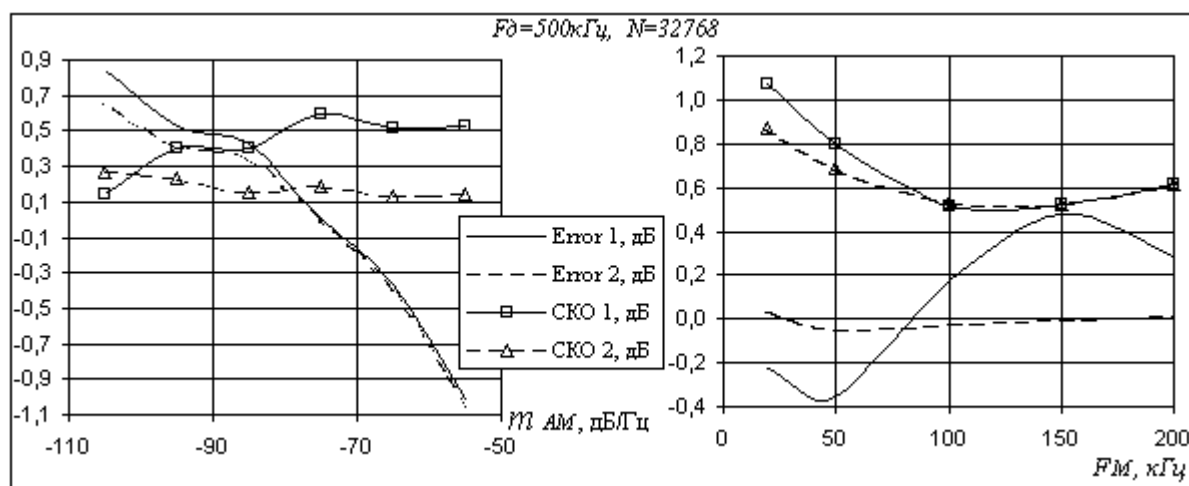


Рис. 1. Зависимости средней ошибки и среднеквадратического отклонения результатов измерения амплитудных флуктуаций сигнала КВЧ

Из полученных экспериментальных данных следует, что результаты измерения коэффициента амплитудной модуляции тестового КВЧ сигнала с помощью разработанного измерителя флуктуаций при калибровке отдельных функциональных частей прибора отличаются от результатов, полученных с помощью анализатора спектра КВЧ, не более чем на  $\pm 2$  дБ, а средние значения не более чем на  $\pm 1$  дБ, причем в широком диапазоне значений коэффициента амплитудной модуляции и частоты сигнала. Значение СКО результатов измерения достигает величины 1 дБ.

Из сравнения результатов измерения амплитудных шумов при двух методах калибровки измерителя следует, что использование предложенного блока калибровки позволяет, во-первых, практически исключить систематическую погрешность измерителя, зависящую от частоты модуляции. Во-вторых, уменьшить случайную составляющую погрешности измерения, зависящую от величины входного сигнала, в 2–3 раза. При этом систематическая погрешность измерения амплитудных флуктуаций определяется главным образом погрешностью установки и измерения значения коэффициента амплитудной модуляции калибровочного КВЧ сигнала.

На рис. 2 представлены результаты экспериментальных исследований метрологических параметров измерителя флуктуаций в режиме измерения частотных шумов сигналов КВЧ.

При проведении измерений параметров сигнала с угловой модуляцией в режиме измерения частотных флуктуаций сигналов КВЧ для относительно больших значений индекса угловой модуляции (–40...–50 дБ) в спектре сигнала появились три гармонических составляющих на частотах кратных частоте модуляции  $F_M$ ,  $2F_M$  и  $3F_M$ . При изменении значения индекса модуляции уровни гармоник изменялись по различным зависимостям. Поэтому измерения параметров угловой модуляции сигнала КВЧ были проведены для относительно малых значений индекса модуляции –80...–90 дБ. Средняя ошибка измерения индекса угловой модуляции составила 3,5–4,6 дБ, среднеквадратическое отклонение результатов измерения составило 0,5–0,7 дБ в зависимости от значения частоты модуляции.

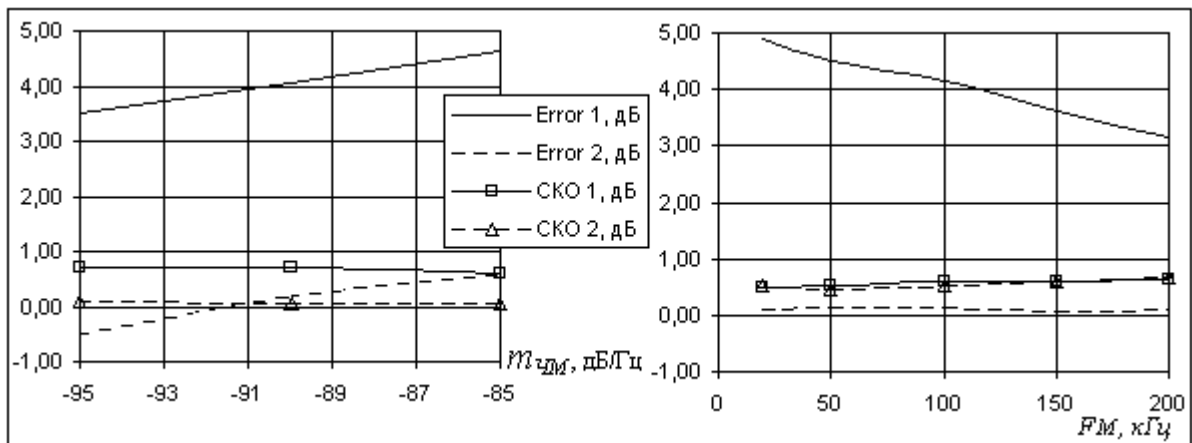


Рис. 2. Зависимости средней ошибки и среднеквадратического отклонения результатов измерения частотных флуктуаций сигнала КВЧ

На рис. 3 представлены результаты экспериментальных исследований метрологических параметров измерителя флуктуаций в режиме измерения вносимых фазовых шумов сигналов КВЧ.

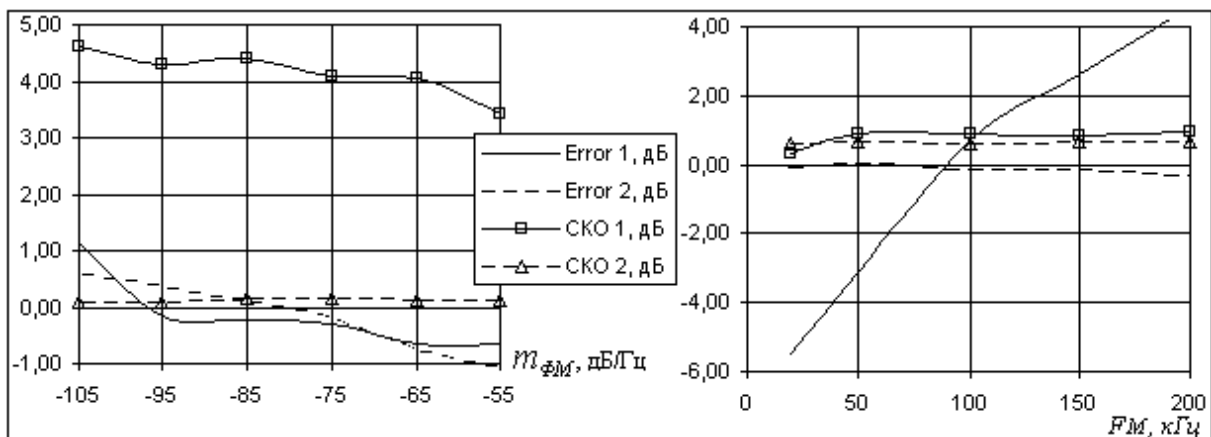


Рис. 3. Зависимости средней ошибки и среднеквадратического отклонения результатов измерения вносимых фазовых флуктуаций КВЧ сигнала

Из сравнения результатов измерения частотных и вносимых фазовых шумов сигнала КВЧ при двух методах калибровки измерителя флуктуаций следует, что использование предложенного блока калибровки позволяет практически исключить систематическую погрешность измерителя и уменьшить случайную составляющую погрешности измерения, зависящую от величины входного сигнала в 5–6 раз.

Дополнительно уменьшить значение СКО результата измерения можно при использовании многократных измерений и методов статистической обработки результатов измерения.

Основной характеристикой измерителя флуктуаций является чувствительность измерений. Определение чувствительности измерения амплитудных, частотных и вносимых фазовых флуктуаций разработанного измерителя проводилось при подключенной согласованной нагрузке ко входу измерителя в соответствующем режиме работы. Результаты определения чувствительности прибора приведены на рис. 4 и в таблице.

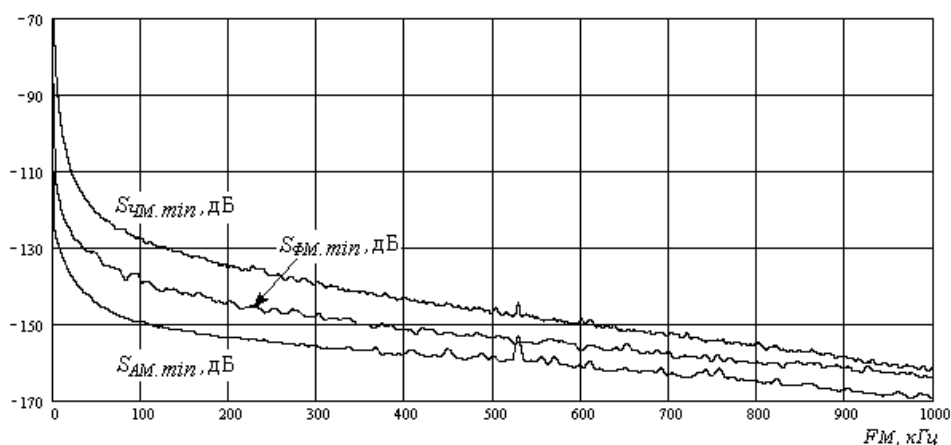


Рис. 4. Чувствительность измерения амплитудных, частотных и вносимых фазовых флуктуаций КВЧ сигнала

**Чувствительности измерения флуктуаций КВЧ сигнала**

$F$ , кГц	1	10	100	1000
$S_{AM.MIN}$ , дБ/Гц	-124	-132	-149	-169
$S_{ЧМ.MIN}$ , дБ/Гц	-71	-99	-127	-162
$S_{ФМ.MIN}$ , дБ/Гц	-101	-121	-139	-163

### Заключение

Проведены исследования метрологических параметров измерителя флуктуаций сигналов КВЧ в режимах измерения амплитудных, частотных и вносимых фазовых флуктуаций при двух методах калибровки прибора. При калибровке функциональных частей измерителя флуктуаций результаты измерения параметров амплитудной и фазовой модуляций сигнала КВЧ отличаются от результатов, полученных с помощью анализатора спектра КВЧ, не более чем на  $\pm 2$  дБ, а средние значения не более чем на  $\pm 1$  дБ в широком диапазоне значений коэффициента амплитудной модуляции и частоты анализа. Средняя ошибка измерения индекса частотной модуляции составила 3,5–4,6 дБ, среднеквадратическое отклонение результатов измерения составило 0,5–0,7 дБ. Погрешности измерения флуктуаций сигнала КВЧ при калибровке измерителя с помощью блока калибровки определяются погрешностью установки и измерения параметров модуляции калибровочного КВЧ сигнала спектральными методами. Использование предложенного блока калибровки позволяет практически исключить систематическую погрешность измерителя, зависящую от частоты анализа, и уменьшить СКО результата измерения, зависящую от величины входного сигнала. Дополнительно уменьшить значение СКО результата измерения можно при использовании многократных измерений и методов статистической обработки результатов измерения.

# EXPERIMENTAL RESEARCH OF METROLOGY CHARACTERISTICS OF MICROWAVE NOISE METER

A.Ya. BELSKI, A.B. DZISIAK

## Abstract

For two calibration methods the researches of metrology parameters of microwave signal amplitude, frequency and insertion phase noise meter are carried out. The measuring error is determined by an installation and measurement by spectral methods error of modulation parameter for microwave calibration signal. Usage of the offered calibration unit allows practically to remove an error dependent on analyzing frequency, and to reduce error dependent on value of an input signal. Also the sensitivity of three kinds noise of microwave signal measurements with the help of a designed meter MNM 78-118 are determined.

## Литература

1. Бельский А.Я., Гусинский А.В., Дзисяк А.Б., Кострикин А.М. // Докл. БГУИР. 2003. Т. 1, № 2. С. 5–11.
2. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники. М., 1988.