

УДК 621.317.846

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АМПЛИТУДНОГО ДЕТЕКТОРА  
ИЗМЕРИТЕЛЯ ФЛУКТУАЦИЙ СИГНАЛА КВЧ**

А.М. КОСТРИКИН, А.Б. ДЗИСЯК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 20 мая 2005*

Исследовались три различных метода определения значения коэффициента  $\alpha$ , характеризующего форму детекторной характеристики диода: по вольт-амперной характеристике диода, по измеренной зависимости уровня постоянной составляющей выходного напряжения диода от уровня входной мощности КВЧ сигнала и модуляционный метод с использованием разработанных блока калибровки и измерителя флуктуаций. Сравнение трех методов определения коэффициента  $\alpha$  показало, что в области больших сигналов результаты измерения  $\alpha$  хорошо согласуются. При слабых входных сигналах ( $U < 50$  мВ) результаты двух методов быстро расходятся при сохранении общего вида зависимости. Таким образом, при измерении амплитудных флуктуаций КВЧ сигнала с помощью разработанных измерителей флуктуаций необходимо обеспечить такой уровень мощности исследуемого КВЧ сигнала, чтобы постоянная составляющая выходного напряжения детектора была не менее 100 мВ.

*Ключевые слова:* измерение амплитудных флуктуаций сигналов КВЧ; коэффициент, характеризующий форму детекторной характеристики амплитудного детектора.

**Введение**

Амплитудные КВЧ детекторы широко используются в радиотехнических устройствах, в частности, входят в состав измерителей амплитудных флуктуаций сигналов КВЧ. В диапазоне уровней входных сигналов, которые имеют место на практике, форма характеристики амплитудного детектора зависит от уровня входного сигнала и сопротивления нагрузки. При измерении параметров флуктуаций КВЧ сигнала коэффициент амплитудной модуляции равен отношению продетектированных напряжений (переменного и постоянного) с учетом формы характеристики детектора. Следовательно, требуется точное знание закона характеристики детектора в рабочих условиях.

**Теоретические и экспериментальные исследования**

Как известно [1, 2], характеристику детектора можно аппроксимировать различными функциями. При степенной аппроксимации необходимо определить значение коэффициента  $\alpha$ , характеризующего форму детекторной характеристики. В работе [2] предложена методика расчета коэффициента  $\alpha$  по измеренной вольт-амперной характеристике (ВАХ) диода с помощью выражения

$$\alpha \approx \frac{\beta U_{\text{н}} \frac{r_{\text{д}} + R_{\text{н}}}{R_{\text{н}}} + \ln \left( \beta U_{\text{н}} \frac{r_{\text{д}} + R_{\text{н}}}{R_{\text{н}}} \right) - \ln(\beta I_o (r_{\text{д}} + R_{\text{н}}))}{1 + \beta U_{\text{н}} \frac{r_{\text{д}} + R_{\text{н}}}{R_{\text{н}}}}, \quad (1)$$

где  $\beta$  — параметр, характеризующий крутизну ВАХ детекторного диода;  $U_{\text{н}}$  — постоянное напряжение на диоде в рабочем режиме;  $R_{\text{н}}$  — активная часть сопротивления нагрузки детектора;  $r_{\text{д}}$  — динамическое сопротивление диода в рабочем режиме;  $I_o$  — величина начального тока диода.

В соответствии с предложенной авторами методикой по измеренной ВАХ диода детектора была определена зависимость коэффициента  $\alpha$  при сопротивлении нагрузки детектора  $R_{\text{н}}=1$  кОм (рис. 1).

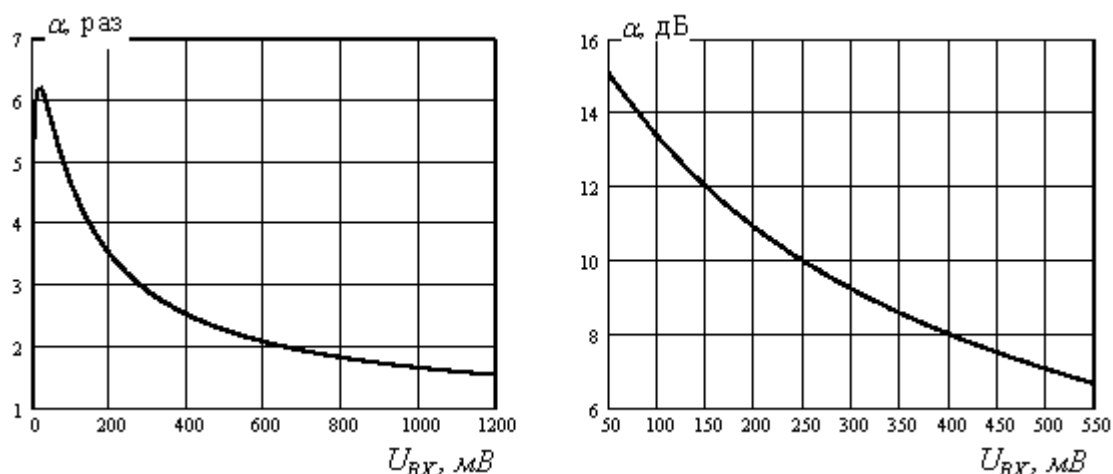


Рис. 1. Коэффициент  $\alpha$ , характеризующий ВАХ диода детектора

При проведении измерений параметров амплитудных флуктуаций сигналов КВЧ удобнее работать с зависимостью выходного напряжения детектора от уровня входной мощности сигнала КВЧ, чем с ВАХ диода. В данной работе предлагается вариант методики определения коэффициента  $\alpha$  диода детектора по измеренной зависимости напряжения на диоде от уровня входной мощности КВЧ сигнала. Для установленного значения уровня мощности КВЧ сигнала  $P_1$  измеряется значение постоянного напряжения на диоде  $U_1$ . Далее, устанавливается следующее значение мощности КВЧ сигнала  $P_2$  так, чтобы изменение постоянного напряжения на диоде  $\Delta U = U_1 - U_2$  составило порядка 5–10 % от значения  $U_1$ . При этом измеряется значение  $U_2$  и относительное изменение мощности КВЧ сигнала  $\Delta P$  или  $\Delta A$  (в дБ), где

$$\Delta P = \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} = 10^{\frac{\Delta A}{20}}. \quad (2)$$

Для определения значения коэффициента  $\alpha$  диода детектора в данной рабочей точке нами получено следующее выражение:

$$\alpha = \frac{1 - \frac{U_2}{U_1}}{1 - \sqrt{\frac{P_2}{P_1}}} = \frac{1 - \frac{U_2}{U_1}}{1 - 10^{\frac{\Delta A}{20}}}. \quad (3)$$

В основу предложенной методики положены математические модели, приведенные в работе [3]. Рассчитанные по выражению (3) значения коэффициента  $\alpha$  диода детектора в зависимости от уровня входной мощности КВЧ сигнала приведены на рис. 2. Дополнительно были исследованы зависимости коэффициента  $\alpha$  диода детектора от величины сопротивления нагрузки при

различных уровнях входной мощности КВЧ сигнала. Результаты исследования представлены на рис. 3.

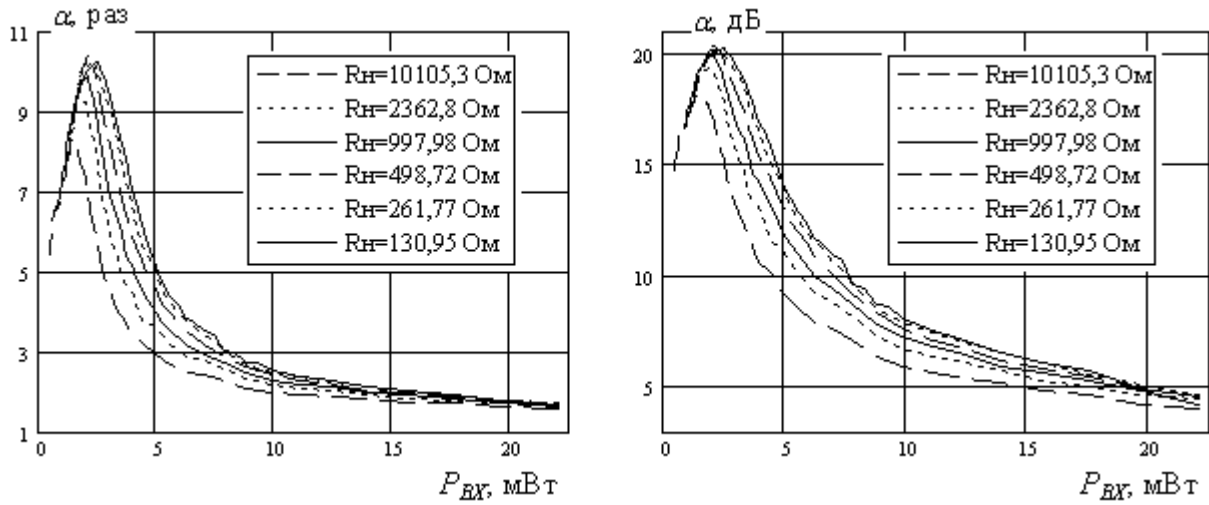


Рис. 2. Зависимости коэффициента  $\alpha$  диода детектора от уровня входной мощности КВЧ

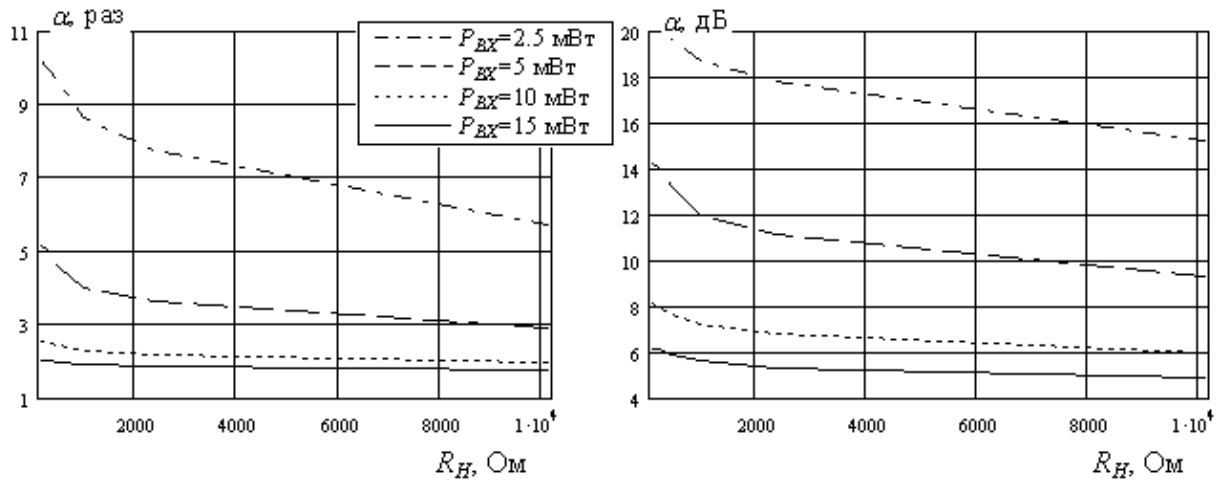


Рис. 3. Зависимости коэффициента  $\alpha$  диода детектора от сопротивления нагрузки детектора

Используя разработанный блок калибровки, измеритель флуктуаций MNM78-118 [4] и спектральный метод определения коэффициента амплитудной модуляции [1], было определено значение коэффициента  $\alpha$  диода детектора для фиксированных рабочих условий. Блок калибровки применялся для формирования тестового КВЧ сигнала с амплитудной модуляцией. Коэффициент амплитудной модуляции определялся спектральным методом с помощью КВЧ анализатора спектра. С помощью разработанного измерителя флуктуаций MNM78-118 было найдено значение относительной спектральной плотности мощности сигнала КВЧ. Значение коэффициента  $\alpha$  диода детектора находилось как разница между значением относительной спектральной плотности мощности в дБ на частоте модуляции и значением коэффициента амплитудной модуляции в дБ при различных значениях коэффициента амплитудной модуляции, частоты модулирующего сигнала и параметрах настройки измерителя флуктуаций. При измерении коэффициента  $\alpha$  дополнительно фиксировалось значение постоянной составляющей выходного напряжения детектора  $U_+$ , пропорциональное уровню мощности КВЧ сигнала. Измеренное среднее значение коэффициента  $\alpha$  составило  $\alpha_{CP}=11,96$  при сопротивлении нагрузки  $R_H=1$  кОм и уровне постоянной составляющей на выходе детектора  $U_+=151$  мВ. При этом среднеквадратическое отклонение (СКО) результата измерения коэффициента  $\alpha$  составило 0,7006 дБ.

На рис. 4 представлены рассчитанные зависимости среднеквадратического отклонения результатов измерения коэффициента  $\alpha$ .

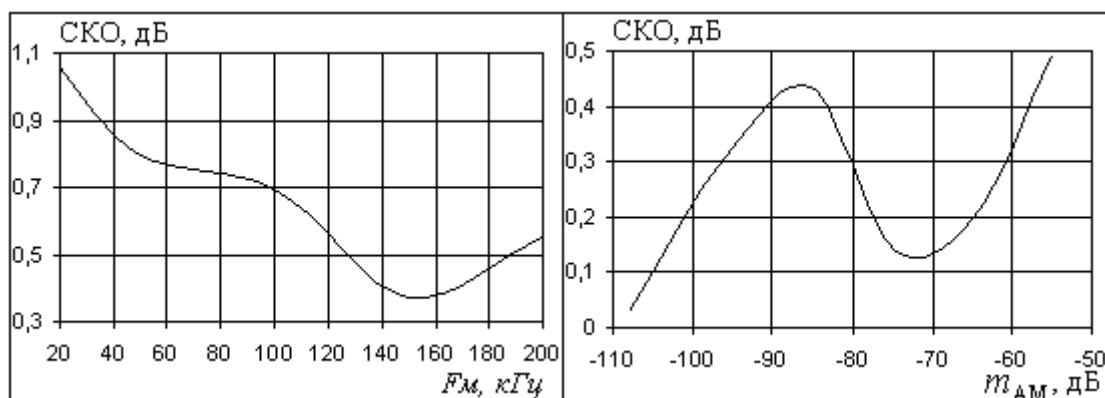


Рис. 4. СКО результата измерения коэффициента  $\alpha$  диода детектора

На рис. 5 приведены обобщающие результаты для трех методов измерения значения коэффициента  $\alpha$  диода детектора, входящего в состав измерителя флуктуаций MNM 78–118. Сплошной линией показана зависимость коэффициента  $\alpha$  от напряжения на диоде при сопротивлении нагрузки  $R_H=1\text{кОм}$ , определенная по измеренной ВАХ диода детектора. Пунктирной линией показана зависимость коэффициента  $\alpha$  диода, определенная по измеренной зависимости напряжения на диоде от уровня входной мощности. Крестом отмечено среднее значение коэффициента  $\alpha$ , измеренное с помощью разработанного блока калибровки и измерителя флуктуаций MNM 78-118 при значении постоянной составляющей на выходе детектора  $U_{\pm}=151\text{ мВ}$  и сопротивлении нагрузки  $R_H=1\text{кОм}$ .

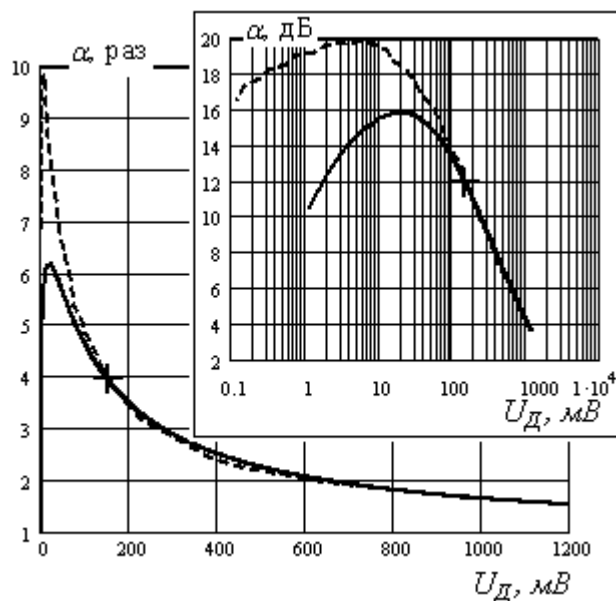


Рис. 5. Результаты определения значения коэффициента  $\alpha$  диода детектора

### Заключение

Сравнение трех методов определения коэффициента  $\alpha$  диода детектора показало, что в области больших сигналов результаты измерения  $\alpha$  хорошо согласуются. В частности, при уровнях входных КВЧ сигналов, соответствующих постоянной составляющей напряжения на диоде от 100 мВ до 1000 мВ, результаты измерения  $\alpha$  отлично согласуются друг с другом и результатами, полученными в ряде работ [2, 3]. При уровне постоянной составляющей напряже-

ния на диоде 50 мВ разница определения коэффициента  $\alpha$  первыми двумя методами составляет 1 дБ. При более слабых входных сигналах ( $U_{\text{вх}} < 50$  мВ) результаты двух методов быстро расходятся при сохранении общего вида зависимости. Из экспериментальных данных следует, что увеличение сопротивления нагрузки линеаризирует характеристику детектора ( $\alpha \rightarrow 1$ ). Для измерения значения коэффициента  $\alpha$  с помощью измерителя флуктуаций и блока калибровки необходимо устанавливать значения частоты модуляции и глубины АМ в областях с малым СКО результатов измерения (150 кГц и  $-70$  дБс). При измерении амплитудных флуктуаций КВЧ сигнала с помощью разработанного измерителя MNM 78–118 необходимо обеспечить такой уровень мощности исследуемого КВЧ сигнала, чтобы постоянная составляющая выходного напряжения детектора была не менее 100 мВ.

## RESEARCH OF AMPLITUDE DETECTOR OF MICROWAVE NOISE METER

A.M. KOSTRIKIN, A.B. DZISIAK

### Abstract

Three various methods of amplitude detector form-factor  $\alpha$  were investigated: using voltage-current characteristic of diode, using diode constant voltage dependence on input signal power, and modulation method with using microwave noise meter and calibration unit. Comparison of these three methods of factor  $\alpha$  definition has shown, that in the big signals field measurement results will well be coordinated. At low signals field ( $U_{\text{вх}} < 50$  мВ) measurement results quickly diverge, but general view of dependences are preserved. Thus, at amplitude noise measurement it is necessary to provide microwave input signal power level would be in the field which corresponds to the diode constant voltage is not less 100 мВ.

### Литература

- 1 Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М., 1977.
- 2 Горожданов Д.П., Ковальчук И.В., Копусов В.Н. // Вопросы радиоэлектроники, сер. РИТ. 1986. Вып. 11. С. 6–11.
- 3 Карпин Ю.А. Электронная техника. Серия 1. Электроника СВЧ. 1986. Вып. 8 (392). С. 36–37.
- 4 Бельский А.Я., Гусинский А.В., Дзисяк А.Б., Кострикин А.М. // Докл. БГУИР. 2003. Т. 1, № 2. С. 5–11.