

УДК 621.317.846

АНАЛИЗ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ ФЛУКТУАЦИЙ ТРЕХМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

А.Я. БЕЛЬСКИЙ, А.В. ГУСИНСКИЙ, А.Б. ДЗИСЯК, А.М. КОСТРИКИН

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

Проведены исследования элементной базы измерителей флуктуаций, оценены шумовые свойства балансных смесителей и детекторных секций, определяющих чувствительность измерений. Предложена математическая модель источников шумов балансного смесителя, определяющего чувствительность измерений, которая отражает вклад дробовых, тепловых и избыточных шумов в области низких частот. Проведены предварительные исследования уровня флуктуаций стабилизированных генераторов 3-миллиметрового диапазона длин волн.

Ключевые слова: измерение флуктуаций сигналов КВЧ, смеситель, детектор, чувствительность измерения.

Введение

В связи с ужесточением требований, предъявляемых к устройствам ближней радиолокации и разработкой аппаратуры миллиметрового диапазона длин волн, возникла острая необходимость исследования параметров, определяющих чувствительность и дальность действия систем — уровней флуктуационных шумов задающих генераторов и гетеродинов, которые устанавливаются в эту аппаратуру.

При исследовании флуктуаций в миллиметровом диапазоне длин волн предъявляются повышенные требования к элементной базе и измерительной аппаратуре, и не только к таким устройствам как ферритовые узлы, аттенюаторы, фазовращатели, детекторные и смесительные секции, но и к элементам волноводного тракта. В данной работе оцениваются шумовые параметры основных устройств измерительного тракта, определяющих чувствительность измерений.

Теоретический и экспериментальный анализ

Известно, что в миллиметровом диапазоне в смесителях и детекторных секциях используются диоды с барьером Шотки (ДБШ). В работе [1] указывается, что исследованию шумов смесителей было посвящено несколько десятилетий, прежде чем была построена адекватная теоретическая модель. В ДБШ основными источниками являются дробовые шумы тока, проходящего через электрический переход и тепловые шумы диссипативных потерь на сопротивлении R_s . В области низких частот преобладают избыточные шумы при токах более 0,1–1 мА, но они не всегда монотонно нарастают с увеличением тока, а проходят через минимум при то-

ках 0,5–1 мА. Предлагаемая в [1] эквивалентная схема для источников шумов смесителя на ДБШ, находящегося под воздействием гетеродинной мощности, представлена на рис. 1.

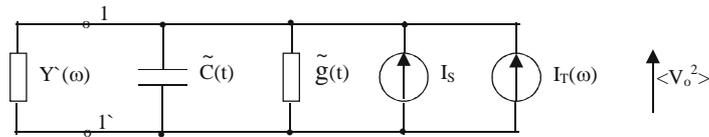


Рис. 1. Эквивалентная схема для источников шумов смесителя на ДБШ

Источник тепловых шумов представлен в виде генератора тока

$$I_T(\omega) = 2 \frac{\sqrt{(kT\Delta F_{\text{ЭФ}} R_S(\omega))}}{Y'(\omega)},$$

где

$$Y'(\omega) = \frac{1}{Z(\omega) + R_S(\omega)}.$$

Оба источника (дробовых шумов I_S и тепловых $I_T(\omega)$) включены параллельно и являются независимыми, так как вызваны различными механизмами их возникновения.

С учетом вышеизложенного для введения в устройство обработки информации измерителя флуктуаций уровня собственных шумов смесительных (детекторных) диодов и их дальнейшего учета в результатах расчета в данной работе предложена аппроксимирующая функция следующего вида:

$$u_{ш}^2 = qI_{дет}^\gamma \left(1 + \left(\frac{F_S}{F} \right)^\mu \right) R_{дет}^2 \Delta F_{\text{ЭФ}} + 4kTR_S(\omega) \Delta F_{\text{ЭФ}}, \quad (1)$$

где $I_{дет}$ — средний ток диода; F_S — частота среза, на которой уровень избыточного шума становится на 3 дБ выше уровня белого шума; $F_{ш}$ — частота анализа уровня шумов; γ — показатель степени, учитывающий совершенство структуры диода; μ — показатель степени, учитывающий степень наклона характеристик избыточного шума и зависит от состояния поверхности полупроводника; q — единичный заряд; $R_{дет}$ — сопротивление электрического перехода диода.

На рис. 2 приводятся измеренные собственные низкочастотные шумы балансного смесителя БМ-3 — пунктирная линия, стандартной детекторной секции ГД-14 — сплошная линия и анализатора спектра СК4-13 — штриховая линия (в полосе анализа $\Delta F_{\text{ЭФ}}=400$ Гц).

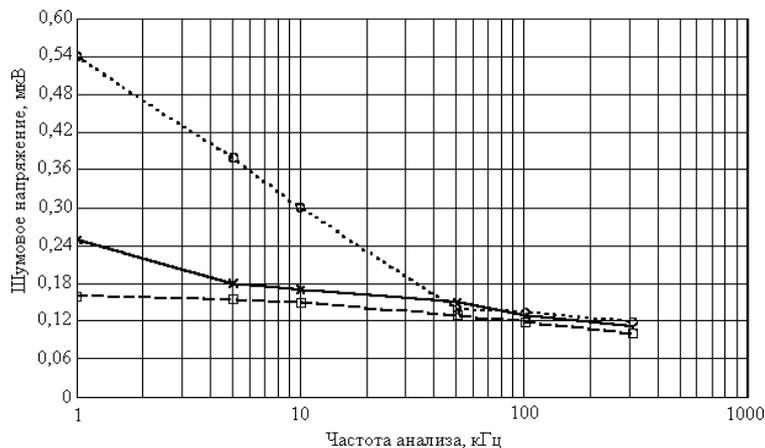


Рис. 2. Измеренные собственные низкочастотные шумы балансного смесителя БМ-3, детекторной секции ГД-14 и анализатора спектра СК4-13

Разработанный измеритель флуктуаций MNM 78-118 [2] осуществляет обработку поступающей измерительной информации, опираясь на математическую модель измерительного тракта [3], учитывающую собственные шумы измерительного тракта, в том числе и шумы диодов балансного смесителя. Одним из основных узлов низкочастотного блока обработки информации измерителя флуктуаций, также определяющим предельную чувствительность проводимых измерений, является малошумящий входной усилитель. На рис. 3 приведены уровни собственных шумов малошумящего усилителя, установленного прямо на выходе балансного смесителя.

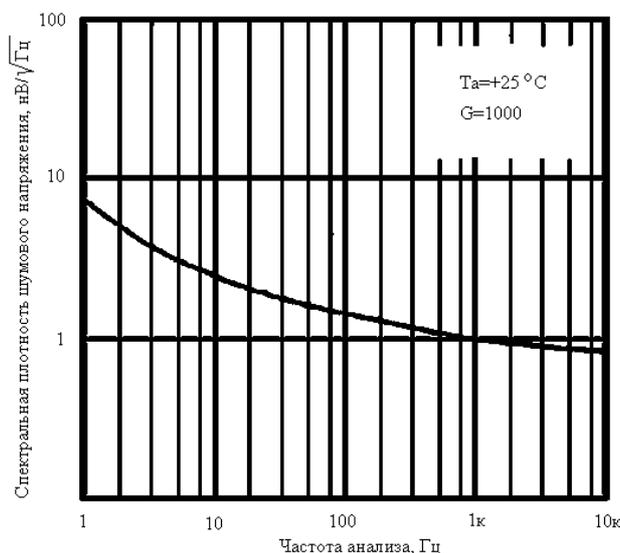


Рис. 3. Собственные шумы малошумящего усилителя

В данной работе предложено следующее выражение для определения относительной спектральной плотности мощности амплитудных флуктуаций, учитывающее уровень собственных шумов используемого измерителя флуктуаций MNM 78-118,

$$S_{AM}(F) = 10 \lg \frac{U_{\sim}^2(F) - u_{ш}^2(F)}{U_{\sim}^2 \alpha^2 \Delta F_{\text{Эф}}}, \quad (2)$$

где $S_{AM}(F)$ — относительная спектральная плотность мощности амплитудных флуктуаций; $U_{\sim}(F)$ — уровень переменной составляющей выходного напряжения детектора, пропорциональный величине исследуемых амплитудных шумов генератора; α — коэффициент, характеризующий форму детекторной характеристики диода; U_{\sim} — постоянная составляющая напряжения на выходе детектора; $u_{ш}(F)$ — величина уровня собственных шумов детектора; $\Delta F_{\text{Эф}}$ — эффективная полоса пропускания анализатора спектра.

Собственное шумовое напряжение детектора определяется экспериментально и теоретически по выражению (1).

Также при измерении частотных флуктуаций КВЧ сигнала с помощью разработанного измерителя MNM 78-118 предлагается определять значение относительной спектральной плотности мощности частотных флуктуаций с учетом уровня собственных шумов детектора по следующему выражению:

$$S_{\text{чМ}}(F) = 10 \lg \frac{U_{\sim}^2(F) - u_{ш}^2(F)}{4S_{\text{чД}}^2 F^2 \Delta F_{\text{Эф}}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{чД}}$ — крутизна преобразования частотного детектора.

Результаты измерения частотных и амплитудных флуктуаций двух генераторов с помощью разработанного измерителя флуктуаций MNM 78-118 и с учетом собственных шумов детектора приводятся на рис. 4 (частотные шумы определялись по выражению (3)) и

рис. 5 (амплитудные шумы определялись по выражению (2)). На рисунках штриховой линией показаны флуктуационные характеристики генератора с диэлектрическим резонатором и умножителем частоты, сплошной линией показаны характеристики стабилизированного КВЧ генератора на лавинно-пролетном диоде.

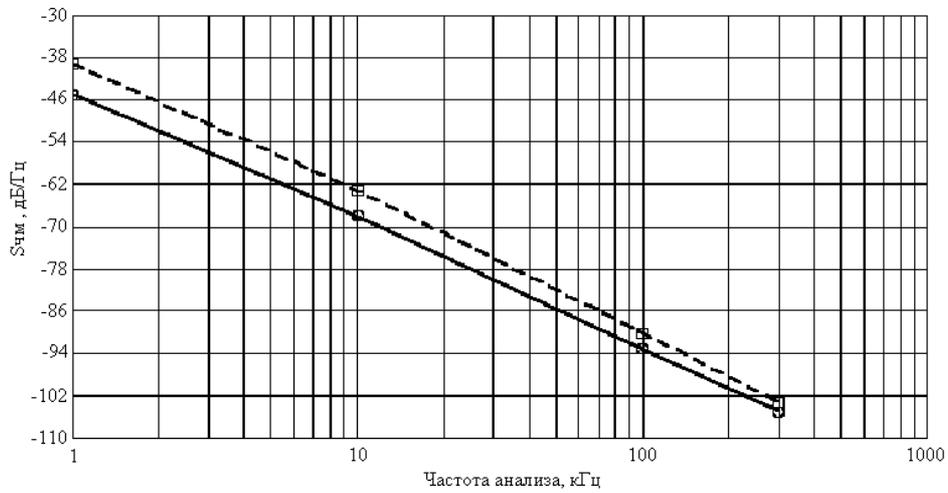


Рис. 4. Измеренные частотные флуктуации КВЧ генераторов

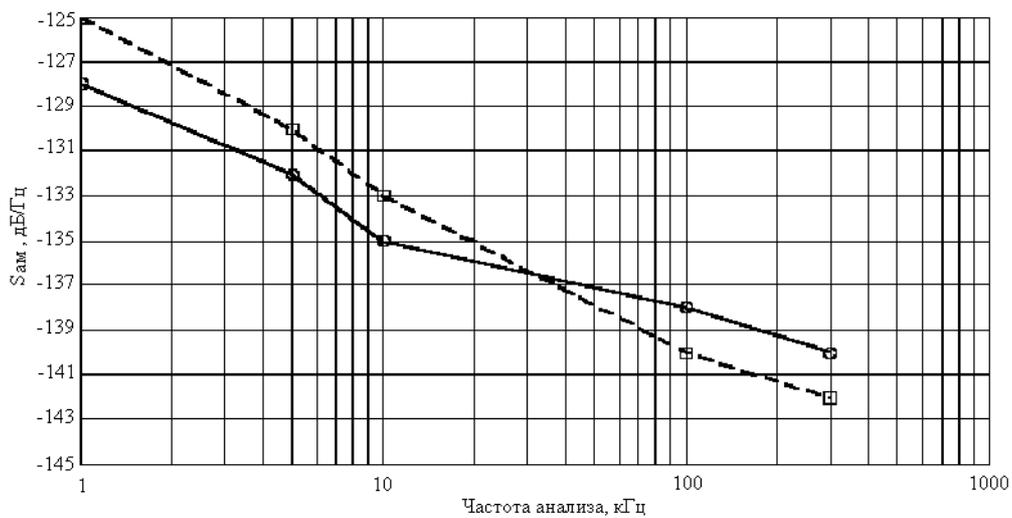


Рис. 5. Измеренные амплитудные флуктуации КВЧ генераторов

Из анализа полученных экспериментальных результатов следует, что основное ограничение на уровень чувствительности измерителя флуктуаций оказывают собственные шумы смесительных диодов при малых величинах отстройки от несущей, степень подавления несущей исследуемого КВЧ сигнала в схеме фильтра несущей, что также показано в работах [4–7] в более длинноволновой части СВЧ диапазона.

NOISE PARAMETERS ANALYSE OF MICROWAVE FLUCTUATION METER'S COMPONENTS

A.Ya. BELSKI, A.V. GUSINSKI, A.B. DZISIAK, A.M. KOSTRIKIN

Abstract

The researches of fluctuation meter's components are carried out. The noise properties of balance mixers and detectors, defining measurement sensitivity, are rated and compared. The mathematical model of balance mixer's noise sources, including a contribution of shot, thermal and excess noises in the low frequencies field, is offered. The preliminary researches of fluctuation level of 3 millimeter wave stabilized generators are carried out.

Литература

1. Розанов Б.А., Розанов С.Б. Приемники миллиметровых волн. М., 1989.
2. Бельский А.Я., Гусинский А.В., Дзисяк А.Б., Кострикин А.М. // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн навук. 2003. № 1. С. 64–71.
3. Бельский А.Я., Гусинский А.В., Дзисяк А.Б., Кострикин А.М. // Докл. БГУИР. 2003. Т. 1, № 2. С. 5–11.
4. Корнилов С.А. // Сб. науч. тр. Моск. энерг.ин-та. 1989. № 200. С. 67–81.
5. Абрамян Г.Л., Аптэк Ю.А., Конкин И.Н. и др. // Техн. средства связи. Сер. Радиоизмерительная техника. 1991. № 3. С.59-64
6. Абрамян Г.Л., Аптэк Ю.А. // Техн. средства связи. Сер. Радиоизмерительная техника. 1991. № 3. С. 64–71.
7. Абрамян Г.Л., Аптэк Ю.А. // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. 1989. Вып. 9 (423). С. 14–17.