

УДК 621.385.64

ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА СВЧ НА ДИОДЕ ГАННА С ВНЕШНЕЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

А.О. АШАМИС, А.М. БРИГИДИН

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 27 марта 2012

Исследованы характеристики генератора СВЧ с внешней дополнительной обратной связью (ВДОС). Как показывает анализ литературных источников [1–3], на практике такие устройства используются в качестве источников гармонических колебаний и для разработчиков радиоаппаратуры несомненно важными являются такие характеристики генератора СВЧ с ВДОС, как перестройка частоты (особый интерес представляет новая конструкция генератора СВЧ с ВДОС, описанная в работе [4]), шумовые характеристики этого устройства и т.д.

Ключевые слова: генератор СВЧ, гармонические колебания, цепь внешней дополнительной обратной связи, радиоаппаратура, шумовые характеристики устройств.

Введение

Для анализа характеристик генератора СВЧ с ВДОС в этой работе используются два метода: аналитический и экспериментальный. Аналитические соотношения для нахождения полосы перестройки генератора СВЧ с ВДОС определяются путем составления и решения укороченных уравнений установления амплитуды и фазы генератора СВЧ с ВДОС. В данной работе рассматриваются генераторы, выполненные на основе диодов Ганна.

Теоретический анализ

Рассмотрим структурную схему устройства управления частотой автогенератора СВЧ с ВДОС, представленную на рис. 1.

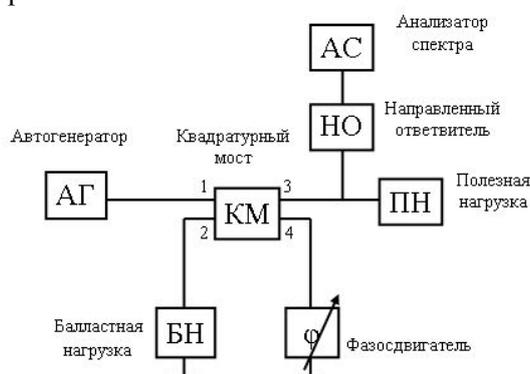


Рис. 1. Структурная схема устройства управления частотой автогенератора СВЧ

Задачей данной конструкции генератора СВЧ с ВДОС является увеличение диапазона перестройки частоты и упрощение конструкции устройства. Это достигается тем, что между автогенератором СВЧ и полезной нагрузкой включено мостовое устройство типа квадратного

моста, к противоположным плечам 2 и 4 которого соответственно подключены балластная нагрузка и электронный фазовращатель отражающего типа.

Чтобы определить зависимость частоты от величины модуля и фазы коэффициента отражения в генераторе СВЧ и ВДОС, необходимо найти дифференциальные укороченные амплитудные и фазовые уравнения, описывающие работу данного устройства, которые дают возможность отыскать спектр генератора, а затем рассчитать его восприимчивость.

Анализ работы схемы проведем на основе квазилинейного метода, суть которого состоит в медленности изменения амплитуды, т.е. относительные изменения амплитуды за период колебания малы по сравнению с единицей:

$$\frac{1}{U} \frac{dU}{dt} T_0 \ll 1. \quad (1)$$

В СВЧ-диапазоне принято проводимость, вносимую нагрузкой, выражать через модуль $K_{отр}$ и фазу $\Psi_{отр}$ коэффициента отражения по напряжению на входе фидерной линии, соединяющей генератор с нагрузкой. Входная проводимость такой линии

$$Y_{0\text{вх}} = Y_0 \dot{Y}_{\text{вдос}} = \frac{Y_0 (1 - K_{отр}^2 + j2K_{отр} \sin \Psi_{отр})}{\alpha_T^2 (1 + K_{отр}^2 + j2K_{отр} \cos \Psi_{отр})}. \quad (2)$$

Выходное устройство генераторного прибора, трансформирующее эту проводимость к зажимам колебательной системы генератора, можно представить в виде эквивалентной схемы (рис. 2), состоящей из идеального трансформатора с коэффициентом трансформации α_T , реактивной проводимости b' и сопротивления x' .

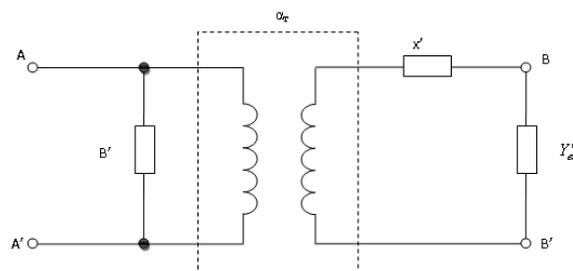


Рис. 2. Эквивалентная схема идеального трансформатора генератора

Экспериментальная часть

Для проверки теоретических выкладок были проведены экспериментальные исследования диапазона перестройки частоты генератора СВЧ с ВДОС на диоде Ганна с помощью фазовращателя отражательного типа, включенного в цепь внешней дополнительной обратной связи (ВДОС).

Структурная схема диодного автогенератора СВЧ приведена на рис. 1. При проведении эксперимента использовался автогенератор, выполненный на основе волноводной резонаторной системы, в которую включен диод Ганна 3А703А. При расчете использовались следующие данные: $f_1=9,03$ ГГц, $f_0=9,2$ ГГц, $Q_{\text{вн}}=40$, $K_{отр}=0,3$. Результаты расчета и эксперимента по диапазону перестройки частоты в крайних точках различаются на 20–25%.

Следует отметить, что физическая сущность процессов, происходящих в генераторе СВЧ с ВДОС, имеет принципиальное сходство с явлением затягивания частоты генератора СВЧ [5, 6]. Экспериментально и теоретически это сходство подтверждается сравнением графиков кривых затягивания частоты генератором кривых перестройки частоты в генераторе с ВДОС.

Шумовые излучения значительно ухудшают электромагнитную обстановку в районе, где работают радиосистемы. Одновременно хуже становятся другие характеристики радиотехнических устройств и систем.

Физическое существование шумов в автогенераторах объясняется тем, что при подаче постоянных напряжений на активных элементах в отсутствие колебаний выходной ток совер-

шает случайные от среднего значения, т.е. является случайно функцией времени. Это связано с вероятностным характером движения носителей заряда в полупроводнике.

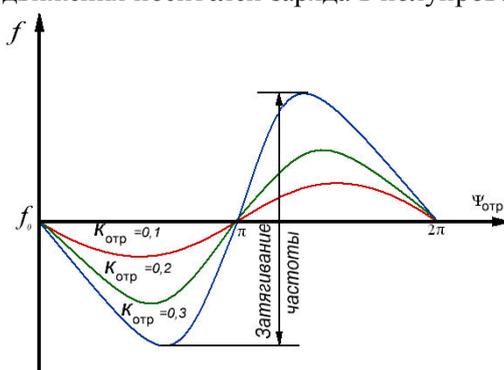


Рис. 3. Кривые затягивания частоты генератора СВЧ для различных значений модуля коэффициента отражения.

На практике уровень шумов автогенератора определяют мощностью, содержащейся в некоторой достаточно малой полосе частот $\Delta f_{ш}$, отстоящей от средней частоты генератора f_r на частоту F .

Уровень амплитудных шумов обычно оценивают величиной:

$$\left[\frac{P_{ш}}{P_{вых}} \right] = 10 \lg \frac{P_{ш}}{P_{вых}}. \quad (3)$$

При теоретическом анализе для определения флуктуаций частоты и амплитуды генератора используют следующую математическую модель источника шумового тока [7]:

$$i_{ш}^2(F) = 2gI_0^2 [1 + (F_s / F_{ш})^\alpha] \Delta F. \quad (4)$$

В выражении (4) приняты следующие обозначения: $i_{ш}^2$ – среднеквадратическая величина шумового тока источника, g – заряд электрона, I_0 – величина среднего тока диода, γ – показатель степени, учитывающий качество структуры диода, α – показатель степени, определяющий крутизну наклона спектральной характеристики шума и связанный с состоянием поверхности полупроводника, F_s – частота среза, т.е. частота, на которой уровень шума на 3дБ выше величины равномерного участка спектра, т.е. «белого» шума, $F_{ш}$ – частота исследуемых шумов, $\Delta f_{ш}$ – полоса частотного анализа шумов.

В нашем случае для измерения частотных флуктуаций генератора СВЧ с ВДОС на диоде Ганна использовался анализатор спектра фирм Agilent типа E4407B.

Схема измерительной установки изображена на рис. 4.

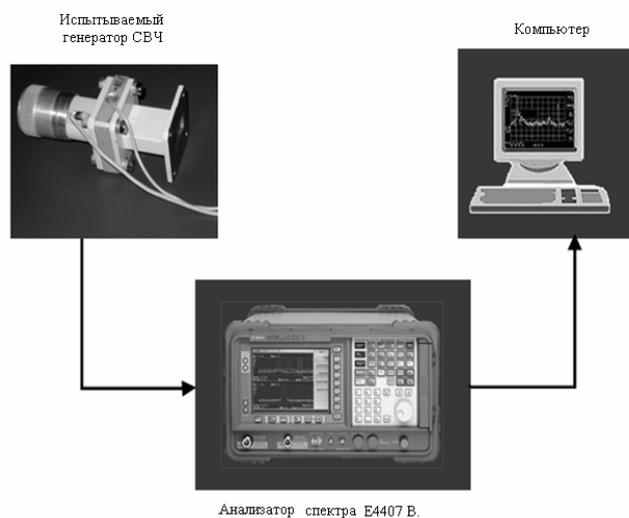


Рис. 4. Структурная схема установки для измерения частотных флуктуаций

На графиках (рис. 5 и рис. 6) приведены спектрограммы, записанные на компьютер с выхода анализатора спектра. Из этих спектрограмм видно, что ВДОС уменьшает частотные флуктуации на 12,6 дБ. Значения уровня измеренных амплитудных шумов были несколько выше рассчитанных, по-видимому, вследствие того, что метод непосредственного детектирования не позволяет точно учесть уровень собственных шумов аппаратуры. Измеренные уровни частотных шумов были более близки к теоретическим.

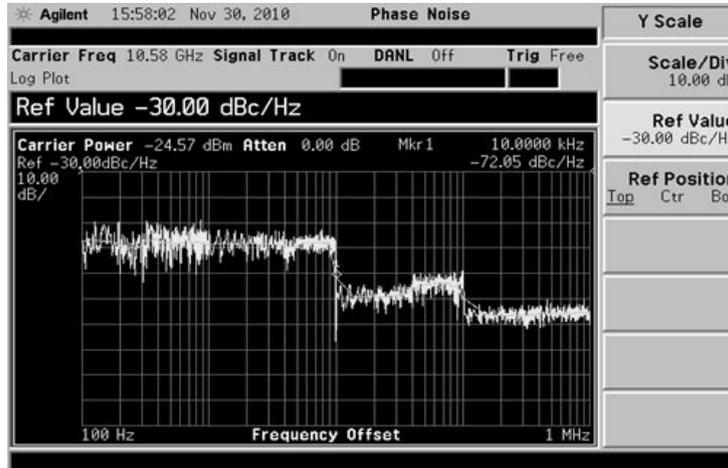


Рис. 5. Зависимость уровня частотных флуктуаций генератора СВЧ с ВДОС

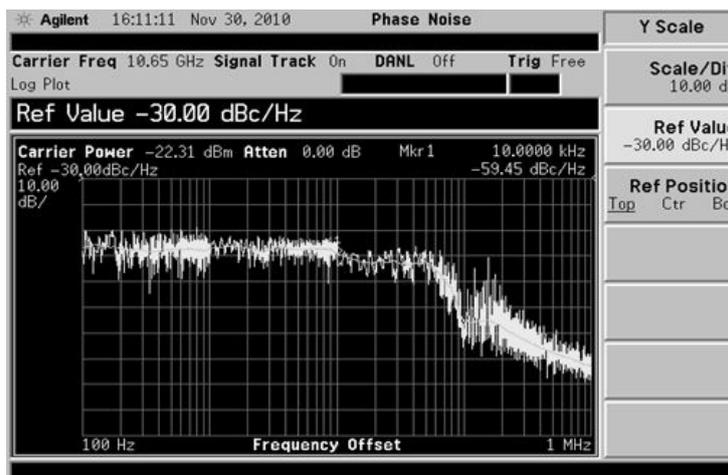


Рис. 6. Зависимость уровня частотных флуктуаций генератора СВЧ без ВДОС

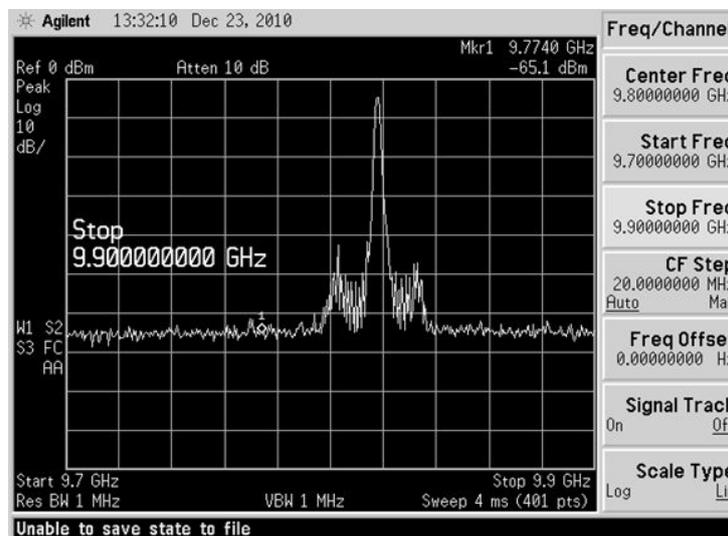


Рис. 7. Спектральная характеристика сигнала генератора СВЧ с ВДОС

Заключение

Проведен расчет фиксирующей способности колебательных систем генераторного диода Ганна на основе дисперсионных резонаторов, определены уровни частотных (фазовых) и амплитудных шумов. Учет показал, что их влияние незначительно в сантиметровом диапазоне длин волн и более значительно в миллиметровом диапазоне. Низкий уровень шумов и простота конструкции позволяют использовать такие генераторы в качестве высокочувствительных СВЧ-датчиков, гетеродинов радиоприемных и других устройств как в сантиметровом, так и в миллиметровом диапазонах длин волн.

NOISE CHARACTERISTICS OF MICROWAVE GENERATOR ON GUNN DIODE WITH AN EXTERNAL ADDITIONAL FEEDBACK

A.O. ASHAMES, A.M. BRIGIDIN

Abstract

This paper is devoted to the characteristics of a microwave generator with an additional external feedback. As analysis of the literature shows, in practice, such devices are used as sources of harmonic oscillations, and for developers of radio is undoubtedly important such characteristics of the microwave generator with an external additional feedback, as frequency tuning.

Список литературы

1. *Минаев М.И.* Генераторы СВЧ с внешней дополнительной обратной связью. Минск, 1984.
2. *Шматько А.А.* // Microwave & Telecommunication Technology (Crimico 2005), Ukraine.
3. *Железовский Б.Е., Кальянов Э.Г.* Многочастотные режимы в приборах сверхвысоких частот. М., 1978.
4. *Ашамис А.О., Кислый Ю.А., Бригидин А.М.* // Докл. БГУИР. 2010. №48. С.11–16.
5. *Бычков С.И.* Вопросы теории и практического применения приборов магнетронного типа. М., 1967.
6. *Вамберский М.В., Казанцев В.И., Шелухин С.А.* Передающие устройства СВЧ. М., 1984.
7. *Бельский А.Я., Зацепин Е.Н.* // Изв. АН БССР. 1985. №4. С. 107–110.