

# ГЕНЕРАТОРЫ МИКРОВОЛНОВОГО ХАОСА НА СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Ефремова Е. В., Юркин В. Ю.  
Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН  
ул. Моховая, 11/7, Москва, 125009, Россия  
e-mail: chaos@cplire.ru

*Аннотация* — Работа посвящена разработке методики компьютерного моделирования и экспериментальной реализации сверхширокополосных генераторов хаотических колебаний микроволнового диапазона на сосредоточенных элементах.

## I. Введение

Хаотические колебания микроволнового диапазона представляют собой перспективный тип носителя информации для сверхширокополосных беспроводных средств связи и сенсорных сетей [1-3]. В частности, в 2007 году сверхширокополосные хаотические импульсы (радиоимпульсы) были рекомендованы стандартом IEEE 802.15.4a [4] для применения в сверхширокополосных беспроводных сетях связи.

Ключевую роль при создании коммуникационных систем на основе хаотических сигналов играет разработка надежных источников хаотических колебаний с заданными спектральными и энергетическими характеристиками, а также возможностью реализации таких систем в виде интегральных микросхем.

В условиях строгих требований к характеристикам и технологии изготовления источников хаотических колебаний устройства на основе вакуумной электроники или микрополосковой технологии оказываются неприменимыми.

Источниками хаоса нового поколения могут стать твердотельные источники на основе автоколебательных систем с сосредоточенными параметрами.

Для того чтобы создание таких систем стало возможным необходимо не только создание теоретических подходов к построению таких систем, но и разработка расчетных методов и методов компьютерного моделирования, позволяющих адекватно реализовывать положения теории в физических устройствах с учетом реальных характеристик входящих в них элементов.

Использование для исследования радиофизических систем простых математических моделей, позволяет проанализировать основные особенности динамики системы. Однако при переходе от математических моделей автоколебательных систем к реальным радиофизическим системам возникает ряд проблем, связанных в первую очередь с неидеальностью активных элементов, наличием паразитных эффектов и частотных зависимостей параметров активных и пассивных элементов. В случае систем с хаосом, ситуация усугубляется высокой чувствительностью таких систем к значениям параметров. Для того чтобы совершить переход от математической модели автоколебательной системы с малым числом степеней свободы к реальному твердотельному источнику хаоса микроволнового диапазона необходимо создать методику компьютерного моделирования источников хаоса позволяющий учесть реальные свойства входящих в них элементов.

Данная работа посвящена созданию методики моделирования твердотельных источников хаотических колебаний микроволнового диапазона, позво-

ляющей осуществить синтез источника хаоса от построения его структуры до создания экспериментального макета устройства генерирующего сигнал с требуемыми характеристиками.

## II. Моделирование

Предложена методика моделирования твердотельных источников хаоса микроволнового диапазона на основе автоколебательных систем с сосредоточенными параметрами, предполагающая создание модели в несколько этапов:

1. Выбирается структура автоколебательной системы и тип активного элемента, проводятся расчеты параметров линейной части автоколебательной системы, обеспечивающих формирование требуемых амплитудно-частотных характеристик.
2. Создается математическая модель автоколебательной системы, осуществляется поиск хаотических режимов с требуемыми спектральными характеристиками, включая контроль изрезанности спектра мощности.
3. В специализированном программном комплексе разрабатывается и исследуется модель автоколебательной системы с реалистичными характеристиками активных и пассивных элементов (учет динамических свойств и артефактов элементов).
4. На основе полученных результатов разрабатывается и исследуется модель, учитывающая влияние материала и топологии платы, на которой располагается источник хаоса.
5. По результатам моделирования создается лабораторный макет твердотельного источника хаоса и проводится его экспериментальное исследование.

Применение предложенной методики апробировано на примере создания источников полосовых хаотических колебаний в различных участках микроволнового диапазона.

Для каждого из источников выбрана структура автоколебательной системы, создана низкоразмерная математическая модель и построена схематехническая модель, учитывающая реальные характеристики активных и пассивных элементов влияние материала и топологии платы, на которой располагается источник хаоса. Параметры модели оптимизированы таким образом, чтобы система генерировала хаотические колебания с требуемыми спектральными характеристиками.

## III. Эксперимент

По результатам моделирования созданы лабораторные макеты твердотельных источников хаоса в диапазоне частот от 0,2 до 10 ГГц (рис. 1).

Разработанные принципы синтеза и моделирования твердотельных источников хаоса микроволнового диапазона на основе автоколебательных систем с сосредоточенными параметрами применимы и при создании источников хаоса в виде интегральных микросхем.

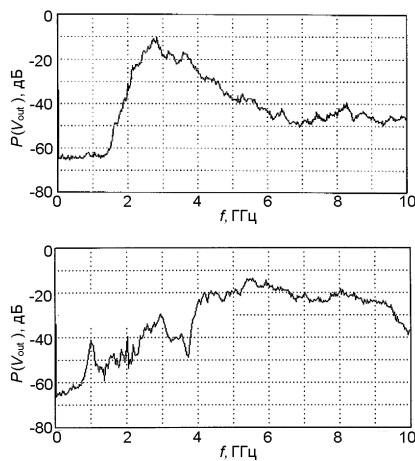


Рис. 1. Зависимость спектральной плотности мощности сигнала от частоты для различных параметров генератора.

Fig. 1. Power spectral density vs. frequency for different generator's parameter sets

В работе приведен пример разработки модели, топологии и экспериментального макета интегральной микросхемы источника хаоса микроволнового диапазона с биполярным транзистором в качестве активного элемента на основе технологии SiGe 0,25 мкм. Система демонстрирует генерацию сверхширокополосных хаотических колебаний в диапазоне частот 3 – 8 ГГц (рис. 2).

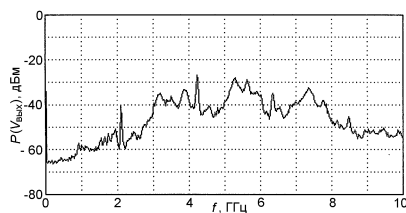


Рис. 2. Зависимость спектральной плотности мощности сигнала от частоты.

Fig. 2. Power spectral density vs. frequency

#### IV. Заключение

Предложенная методика моделирования твердотельных источников хаотических колебаний микроволнового диапазона, позволяет синтезировать источник хаос от построения его структуры до создания экспериментального макета устройства генерирующего сигнал с требуемыми характеристиками.

С использованием созданных в работе источников хаоса микроволнового диапазона в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН разработана аппаратура, предназначенная для организации сверхширокополосных беспроводных систем передачи данных и сенсорных сетей, которые могут быть использованы как в промышленных, так и в бытовых приложениях.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 09-02-00983-а, № 09-07-92651-ИНД\_а и гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МД-4131.2009.9).

#### V. Список литературы

- [1] Spec. Is. on applications of nonlinear dynamics to electronic and information engineering // Proc. IEEE. 2002. V. 90. N. 5
- [2] Дмитриев А. С., Панас А. И. Динамический хаос. Новый носитель информации для систем связи. М.: Физматлит. 2002.
- [3] Дмитриев А. С., Ефремова Е. В., Клецов А. В. и др. // РЭ. 2008. Т. 53. №10. С. 1278-1289.
- [4] IEEE Standard for Information technology. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs); Amendment 1: Add Alternate PHYs, 2007.

### GENERATORS OF MICROWAVE CHAOS ON LUMPED ELEMENTS

Efremova E. V., Yurkin V. Yu.  
Kotel'nikov Institute of Radio Engineering  
and Electronics of RAS  
11/7, Mohovaya Str., Moscow, 125009, Russia  
e-mail: chaos@cplire.ru

**Abstract** — This work concerns the development of methods of simulation and experimental realization of ultra-wideband microwave chaotic generators on lumped components.

#### I. Introduction

Ultra-wideband wireless communication systems based on chaotic signals are one of perspective areas of nowadays telecommunications [1–3]. Their possible applications are WLAN's and wireless sensor networks.

Key element of a communication system based on chaotic signals is a chaotic generator. Chaotic generators must provide generation of ultra-wideband chaotic signal in prescribed frequency band with rather smooth power spectrum envelope and prescribed power spectral density. At the same moment they must be compact and have low power consumption, repeatable characteristics by mass production and be implementable as a microchip.

#### II, III. Main Part

In this work a complex approach to development and simulation of solid state microwave chaotic generators based on lumped parameters self-oscillating systems is proposed. This approach allows synthesizing of a chaotic source from its structure composition to production of an experimental set of a device provided signal with prescribed characteristics. It is shown that account for the properties of real electronic components, parasitic effects, board properties and topology in simulation allow overcoming the gap between simulation results and the experiment. Chaotic generators are proposed and investigated to produce ultra-wideband chaotic signals in 2–10 GHz band with frequency bandwidth 1 to 8 GHz.

SiGe integrated circuit of a ultra-wideband microwave chaotic generator is proposed. The integrated circuit model is simulated with models of the elements from 0.25 um SiGe technology library. Based on the proposed topology, experimental samples of a microchip microwave chaotic generator are produced. Ultra-wideband microwave chaotic oscillations in 3–8 GHz range are verified in the experiment.

#### IV. Conclusion

Proposed microwave chaotic generators are used as sources of carrier signals in ultra-wideband transceivers for personal communication systems and sensor networks that were developed in IRE RAS.