

УДК 621.396

ХАОТИЗАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ СВЧ ДИАПАЗОНА В МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕННАХ-ГЕНЕРАТОРАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НИЗКОЧАСТОТНОГО ШУМОВОГО СИГНАЛА

Д. Е. Радченко, В. И. Калинин, В. Д. Котов, В. Е. Любченко,
С. В. Маречек, Е. О. Юневич

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
141120, Московская область, Фрязино, пл. академика Введенского, 1

Статья поступила в редакцию 22 августа 2018 г., после доработки - 6 сентября 2018 г.

Аннотация. Твердотельные генераторы хаотических сигналов сантиметрового и миллиметрового диапазона длин волн представляют большой интерес для беспроводных телекоммуникационных систем, систем радиовидения и радиоэлектронной борьбы. В данной работе исследована возможность генерации хаотических сигналов СВЧ диапазона с помощью антенны-генератора (АГ) - устройства, представляющего собой микрополосковую антенну логопериодического типа на диэлектрической подложке, интегрированную с полевым транзистором NE3514S02. Экспериментально определены условия перехода к хаосу. Обнаружено, что основными факторами, приводящим к уширению полосы генерируемого сигнала является расстояние между плоскостью антенны и отражающим экраном и величина тока в цепи сток-исток транзистора. Исследована возможность расширения спектра хаотических колебаний за счёт использования низкочастотной шумовой модуляции. Экспериментально получена хаотическая генерация в сантиметровом диапазоне длин волн с шириной спектра до 2 ГГц.

Ключевые слова: СВЧ, автогенератор, хаос, логопериодическая антенна, полевой транзистор.

Abstract: Microwave solid-state oscillators of chaotic signals are of the great interest for wireless telecommunication systems, imaging systems and electronic warfare. In this paper, the possibility of microwave chaotic signal generation is investigated. A microstrip log-periodic antenna integrated with a field-effect transistor is used. As an

active element, NE3514S02 field-effect transistor with 13.5 dB gain at 12 GHz is chosen. The conditions of the chaotic oscillation emergence are determined experimentally. It is found that the main factor resulting in broadening of the signal frequency band is the distance between the plane of the antenna and the reflecting screen (thickness of the substrate) and the value of the current in the drain-source circuit of the transistor. The possibility of increasing the chaotic generation bandwidth is studied under the low-frequency noise (up to 80 MHz) modulation. The chaotic microwave generation is experimentally obtained with spectrum bandwidth up to 2 GHz at 8 GHz.

Keywords: microwaves, self-oscillator, chaos, log-periodic antenna, field-effect transistor.

Введение

Генераторы шума (ГШ) являются практической реализацией явлений динамического хаоса в радиоэлектронных устройствах [1]. В качестве элементной базы в таких устройствах используются как вакуумные, так и полупроводниковые приборы, что позволило создать источники шума в широком диапазоне частот, вплоть до сотен ГГц. Известны различные схемы, позволяющие генерировать хаотические сигналы с использованием полупроводниковых диодов и транзисторов. Эффективным способом улучшения спектральных характеристик полупроводниковых ГШ является использование модуляции низкочастотным шумовым сигналом, что продемонстрировано в [2 - 4] на примере генераторов на лавинно-пролетном диоде и Si-Ge транзисторе. Активные микрополосковые антенны, или антенны-генераторы (АГ) на полевых транзисторах, позволяют создавать малогабаритные источники излучения в широком диапазоне частот, в том числе в виде многоэлементных матриц с возможностью сложения мощностей. Генерация в зависимости от условий может быть одночастотной или многочастотной, наблюдалась также хаотизация колебаний [5]. Хаотический

режим достигается при толщине диэлектрической подложки, много меньшей длины волны излучения на резонансной частоте [6].

В настоящей работе проведено исследование спектра генерации хаотических сигналов в сантиметровом диапазоне волн с помощью микрополосковых антенн-генераторов на полевых транзисторах при воздействии низкочастотного шумового сигнала.

Конструкция антенны-генератора

В основе антенны-генератора лежит микрополосковая логопериодическая антенна с включенным в ее плечи полевым транзистором. Антенна располагается на диэлектрической подложке, с металлическим экраном с обратной стороны. Конструкция позволяет изменять расстояние между антенной и отражающим экраном (рис.1).



Рис. 1. Конструкция антенны-генератора.

Эксперименты проводились с использованием транзисторов NE3514S02. Сток и затвор транзистора присоединяются непосредственно к лепесткам антенны. Исток соединяется с контактной площадкой в одной плоскости с антенной для подключения к земле.

Результаты измерений

Как показывают эксперименты, в такой схеме возможна реализация одночастотной, многочастотной и хаотической генерации. Тип генерации зависит от многих параметров, в том числе от расстояния между плоскостью антенны и металлическим экраном, а также параметров транзистора и

положения рабочей точки. Переход к хаосу в случае малых расстояний между плоскостью антенны и отражающим экраном ($d < 0,1\lambda$) показан на рис. 2, 3.

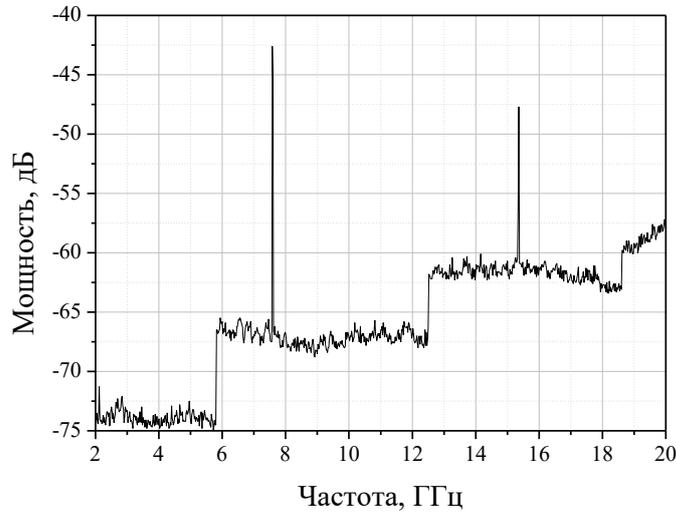


Рис. 2. Генерация на основной частоте и второй гармонике. Расстояние между плоскостью антенны и металлическим экраном $d = 0,5$ мм, ток в цепи сток-исток 20 мА.

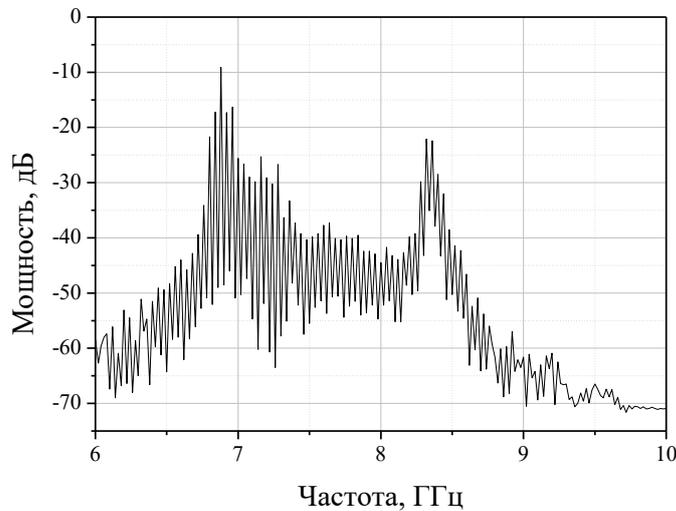


Рис.3. Генерация хаотического сигнала при $d = 0,75$ мм, ток в цепи сток-исток 10 мА.

Переход к хаотической генерации в такой схеме, как правило, требует тонкой подстройки рабочей точки транзистора за счёт изменения напряжений в цепи затвор-исток и сток-исток, а также расстояния между плоскостью антенны и металлическим экраном. Получить воспроизводимым образом относительно равномерный спектр хаотических колебаний не удастся.

Для улучшения спектральной характеристики и обеспечения воспроизводимости результатов был исследован режим работы генератора с использованием внешнего низкочастотного шумового сигнала с полосой до 80 МГц по уровню -22 дБм. Генератор низкочастотного шума подключался к затвору транзистора. В этом случае переход к хаотической генерации возможен в более широком диапазоне токов в цепи сток-исток, а зависимость спектра от расстояния между плоскостью антенны и металлической подложкой сохраняется.

При расстояниях близких к четверти длины волны между плоскостью антенны и металлической подложкой, когда в отсутствии модуляции шумовым низкочастотным сигналом наблюдается одночастотная генерация, подключение ГШ приводит к возникновению сплошного хаотического спектра со сравнительно небольшой неравномерностью (рис. 4, 5).

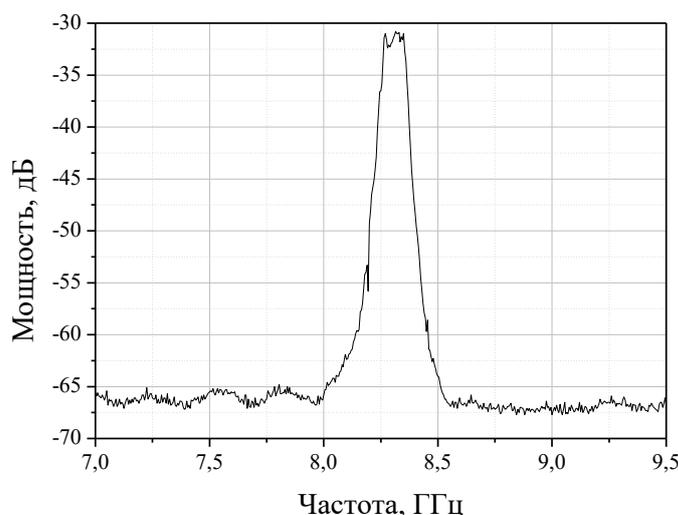


Рис. 4. Генерация хаотического сигнала при использовании внешнего генератора шума, $d = 12,5$ мм, ток сток-исток 30 мА.

При уменьшении расстояния между плоскостью антенны и металлическим экраном до величины близкой к $0,1\lambda$ и в условиях воздействия шумовым низкочастотным сигналом ширина полосы хаотического сигнала может достигать 2 ГГц (рис. 5).

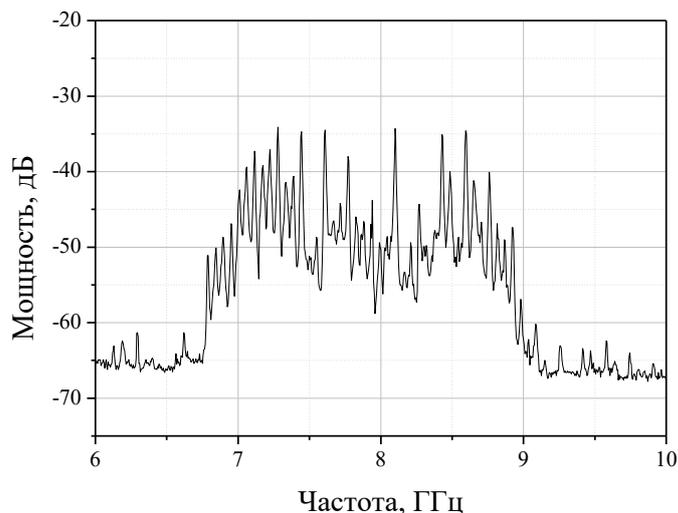


Рис. 5. Генерация хаотического сигнала при использовании внешнего генератора шума, $d = 0,45$ мм, ток сток-исток 17 мА.

Выводы

Получение хаотической генерации в схеме антенны-генератора с полевым транзистором сопряженно с рядом трудностей - требуется достаточно тонкая подстройка режима работы транзистора и подбор расстояния между плоскостью антенны и металлической подложкой. Использование внешнего низкочастотного генератора шума позволяет расширить не только область параметров, при которых генерация переходит от одночастотной к хаотической, но и получить более равномерный спектр. При этом ширина спектра может достигать 2 ГГц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-07-00094-а).

Литература

1. Дмитриев А. С. и др. Генерация хаоса. // М.: Техносфера. 2012. 423 с.
2. Котов В. Д., Мясин Е. А. Воздействие низкочастотного шумового сигнала на генератор одночастотных колебаний миллиметрового диапазона волн

- на лавинно-пролётном диоде. // Письма в Журнал технической физики. – 2017. Т. 43. №. 22. С. 69-74.
3. Котов В. Д., Максимов Н. А., Мясин Е. А. СВЧ генератор на Si-Ge транзисторе под воздействием низкочастотного шумового сигнала. // Труды V Московской конференции по СВЧ электронике. – М. 28 ноября – 1 декабря 2017 г. С. 35-37
 4. Мясин Е. А., Котов В. Д. Воздействие низкочастотным шумовым сигналом на цепь питания ЛПД генератора одночастотных и хаотических колебаний миллиметрового диапазона волн. // Радиотехника и электроника. 2018. Т. 63. №. 10. С.1-6.
 5. Любченко В. Е. и др. Многочастотная и хаотическая генерация в микрополосковой антенне, интегрированной с полевым транзистором. // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2015. №. 1. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jan15/5/text.pdf>
 6. Юневич Е. О. и др. Генерация шумоподобных сигналов в микрополосковых активных антеннах, интегрированных с полевыми транзисторами. // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №. 11. Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/nov17/2/text.pdf>

Для цитирования:

Д. Е. Радченко, В. И. Калинин, В. Д. Котов, В. Е. Любченко, С. В. Маречек, Е. О. Юневич. Хаотизация колебаний СВЧ диапазона в микрополосковых антеннах-генераторах при воздействии низкочастотного шумового сигнала. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. № 9. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/sep18/17/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2018.9.17