

УДК 621.396

**ГЕНЕРАЦИЯ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ В
МИКРОПОЛОСКОВЫХ АКТИВНЫХ АНТЕННАХ,
ИНТЕГРИРОВАННЫХ С ПОЛЕВЫМИ ТРАНЗИСТОРАМИ**

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

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

Статья поступила в редакцию 22 октября 2017 г.

Аннотация. Твердотельные генераторы шумоподобных 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 шумоподобных сигналов СВЧ диапазона с помощью антенны-генератора (АГ) - устройства, представляющего собой микрополосковую антенну логопериодического типа на диэлектрической подложке, интегрированную с полевым транзистором. В данной конструкции генератора возбуждается один лепесток антенны, а положительная обратная связь реализуется за счет наведения СВЧ электромагнитного поля на другом лепестке. Экспериментально определены условия возникновения хаотических колебаний. Обнаружено, что основными факторами, приводящим к уширению полосы генерируемого сигнала является расстояние между плоскостью антенны и отражающим экраном (толщина подложки) и величина тока в цепи сток-исток транзистора. Экспериментально исследована генерация хаотических колебаний в АГ с толщиной диэлектрической подложки от $0,015\lambda$ до $0,025\lambda$ (λ – длина волны в диэлектрике) и при токе в цепи сток-исток, находящемся в области насыщения вольт-амперной характеристики. При этом в спектре генерации получены полосы хаотического сигнала шириной до 3 ГГц на частотах от 6 до 20 ГГц.

Ключевые слова: СВЧ, автогенератор, шумоподобный сигнал, логопериодическая антенна, полевой транзистор.

Abstract. Microwave solid-state oscillators of noise-like signals are of the great interest for wireless telecommunication systems, imaging systems and electronic warfare. For instance, there is a method of direct-chaotic information transfer (transmission by chaotic pulses) in the ultra-wideband wireless personal communication standards. In this paper, the possibility of microwave noise-like signal generation is investigated. A microstrip log-periodic antenna integrated with a field-effect transistor (antenna-oscillator - AO) is used. In the oscillator construction, one antenna petal is excited, and the positive feedback is realized by means of the microwave electromagnetic field induction in another petal. As an active element, NE3514S02 field-effect transistor with 13.5 dB gain at 12 GHz was 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. Chaotic oscillations in the antenna-oscillator with substrate thickness ranged from 0.015λ to 0.025λ (λ is the wavelength in the dielectric) and drain-source circuit current located in the saturation region of the current-voltage characteristic is experimentally studied. The chaotic signal with a bandwidth up to 3 GHz in the frequency range from 6 to 20 GHz is obtained.

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

Введение

Создание генераторов электромагнитного излучения является одной из главных задач современной СВЧ электроники. Использование для этих целей микрополосковых антенн, интегрированных с полевыми транзисторами (антенн-генераторов), позволяет создавать портативные источники излучения в широком диапазоне частот [1, 2]. Для большого числа применений

представляет интерес генерация шумоподобных сигналов, например, для разработки систем радиоэлектронной борьбы и для подсветки в системах радиовидения [3-5]. Идеальным сигналом для этого является белый гауссовский шум (БГШ). Анализ, проведенный в [4], показал, что использование непрерывного сверхширокополосного (полосой в 1 ГГц) БГШ для целей РЛС с формированием изображения дает преимущество на 5 – 10 дБ по сравнению с импульсами с линейной частотной модуляцией при восстановлении модельных изображений. Генераторы хаотических колебаний на твердотельных активных элементах исследуются с начала 80-х годов прошлого века. В основе таких генераторов лежат явления динамического хаоса, а в качестве активных элементов используются как биполярные, так и полевые транзисторы. Например, в работе [6] предложена модель генератора, электрическая схема которого представляет собой вариант емкостной трехточки. В такой схеме имеет место сверхширокополосная генерация, а абсолютный максимум в спектральной плотности мощности соответствует собственной частоте колебательного контура.

Известно [7], что в АГ, представляющих собой микрополосковую антенну на диэлектрической подложке с металлическим экраном на тыльной стороне, при значительном уходе от четвертьволновой толщины подложки генерация становится нестабильной. В работе [8] авторами была получена генерация хаотического сигнала в диапазоне частот от 6,4 до 6,6 ГГц с использованием в качестве АГ микрополосковой антенны логопериодического типа, интегрированной с полевым транзистором. При толщине подложки около $0,06\lambda$ одночастотная генерация отсутствовала, но наблюдалась многочастотная генерация, которая, по-видимому, являлась спектром комбинационных частот, с характерным интервалом 50 МГц между ними и переходящая в шумоподобную генерацию с полосой частот до 300 МГц. Для расширения полосы хаотической генерации представляет интерес исследование спектров АГ при толщине подложки (d) менее $0,06\lambda$ и при различных режимах питания транзисторов.

Конструкция антенны-генератора

Автогенератор выполнен на основе микрополосковой логопериодической антенны с включенным в ее плечи полевым транзистором (NE3514S02). Сток и затвор транзистора присоединяются к лепесткам антенны. В отличие от ранее использованного подключения истока транзистора через металлизированное отверстие к металлическому экрану [8], исток соединялся с контактной площадкой в одной плоскости с антенной для подключения к общему проводу источника питания (рис. 1). Это позволяло изменять расстояние d между антенной и отражающим экраном (толщину подложки). Расчет основной частоты АГ проводился из предположения, что длина наибольшего зуба примерно равна четверти эффективной длины волны в диэлектрике:

$$l = \frac{\lambda_{eff}}{4},$$

где $\lambda_{eff} = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$ – эффективная длина волны;

$\epsilon_{eff} \approx \frac{\epsilon_r + 1}{2}$ – эффективная диэлектрическая проницаемость.

Для эксперимента было изготовлено два образца антенны-генератора, рассчитанных на основную частоту генерации 9,5 ГГц (АГ1) и 7 ГГц (АГ2).

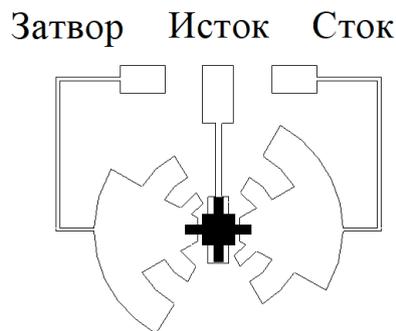


Рис. 1. Схема антенны-генератора

В отличие от схемы, предложенной в [6], положительная обратная связь в данной схеме реализуется за счет наведения СВЧ поля в области затвора транзистора.

Результаты измерений

Спектры генерируемых сигналов при различных толщинах подложки и режимах работы транзистора представлены на рис. 2-4.

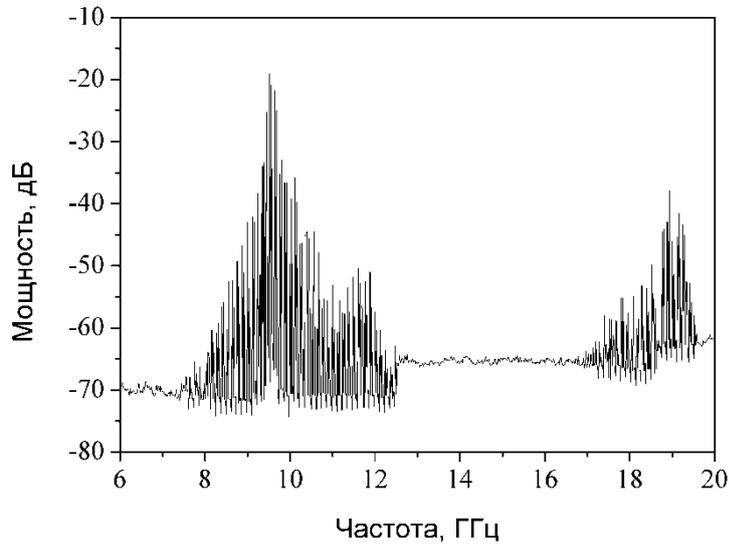


Рис 2. Спектр АГ1: $d = 0,027\lambda$, ток сток-исток 30 мА

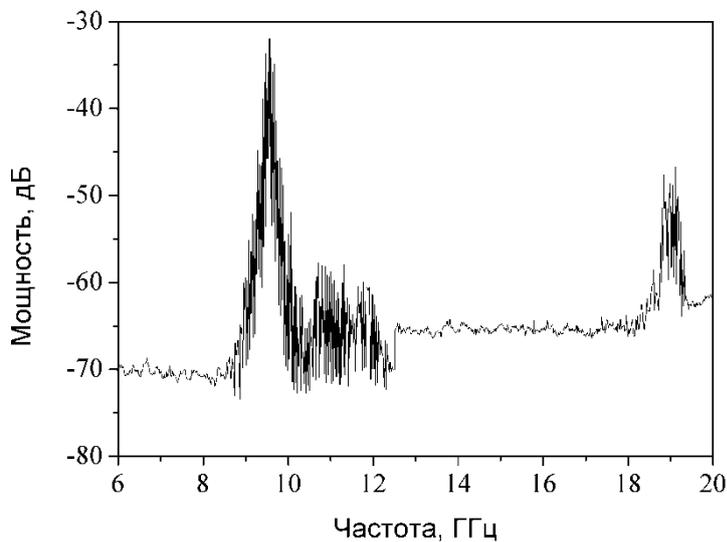


Рис.3. Спектр АГ1: $d = 0,022\lambda$, ток сток-исток 34 мА

Сравнение рис. 2 и 3 показывает, что в зависимости от толщины подложки и величины тока в цепи сток-исток реализуются условия многочастотной и шумоподобной генерации. Рис. 4 показывает возможность слияния спектров хаотической генерации вблизи первой и второй гармоник основной частоты АГ.

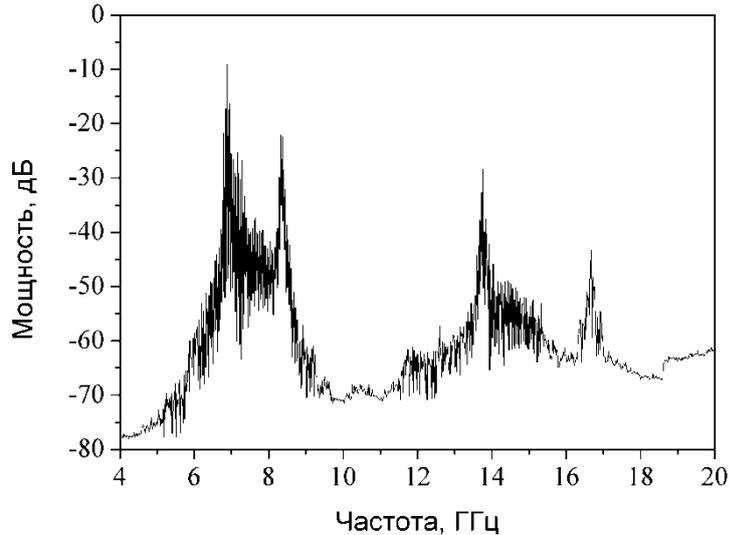


Рис.4 . Спектр АГ2: $d = 0,016\lambda$, ток сток-исток 44 мА

Значительно увеличить полосу шумовой генерации по сравнению с данными, полученными авторами в [8], удалось, уменьшив толщину подложки до значений менее $0,03\lambda$ и переходя в область больших, близких к предельно допустимым для данного типа транзисторов токам.

Выводы

Микрополосковая логопериодическая антенна, интегрированная с полевым транзистором, может служить в качестве источника не только одночастотного, но и шумоподобного излучения в СВЧ, а в перспективе и в КВЧ диапазоне длин волн, при соответствующем подборе толщины диэлектрической подложки и режима питания транзистора. При толщине подложки менее $0,03\lambda$ получен шумоподобный сигнал с шириной полосы около 3 ГГц, а при толщине подложки $0,016\lambda$ возможно его слияние со спектром генерации на второй гармонике основной частоты АГ.

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

Литература

1. Любченко В. Е. и др. Генерация миллиметровых волн в логопериодической антенне, интегрированной с полевым транзистором. // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. – 2009. – Т. 52. – №. 8. – С. 627-631.
2. York R.A., Martinez R.D., Compton R.C. Active patch antenna element for array applications // Electronics letters. – 1990. – Vol. 26. – №. 7. – P. 494-495. DOI: 10.1049/el:19900321
3. Shi Z. G., Ran L. X. Microwave chaotic Colpitts oscillator: design, implementation and applications. // Journal of Electromagnetic Waves and Applications. – 2006. – Vol. 20. – №. 10. – P. 1335-1349.
4. Garmatyuk D. S., Narayanan R. M. ECCM capabilities of an ultrawideband bandlimited random noise imaging radar. // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2002. – Vol. 38. – №. 4. – P. 1243-1255. DOI: 10.1109/TAES.2002.1145747
5. Дмитриев А. С. и др. Генерация хаоса. // М.: Техносфера. – 2012. – С. 423.
6. Григорьев Е. В. и др. Генератор хаоса на полевым транзисторе. Математическое и схемотехническое моделирование. // Радиотехника и электроника. – 2007. – Т. 52. – №. 12. – С. 1463-1471.
7. Murata M. et al. Active radiating butterfly antenna // Antennas and Propagation Society International Symposium, 1997. IEEE., 1997 Digest. – IEEE, 1997. – Vol. 4. – P. 2464-2467. DOI: 10.1109/APS.1997.625499
8. Любченко В. Е. и др. Многочастотная и хаотическая генерация в микрополосковой антенне, интегрированной с полевым транзистором. // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2015. №. 1. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jan15/5/text.pdf>

Ссылка на статью:

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