

УДК 621.396

МНОГОЧАСТОТНАЯ И ХАОТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЕ, ИНТЕГРИРОВАННОЙ С ПОЛЕВЫМ ТРАНЗИСТОРОМ

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

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН

Статья получена 23 декабря 2014 г.

Аннотация. Интеграция активного полупроводникового прибора с микрополосковой антенной без промежуточных фидеров позволяет существенно улучшить массогабаритные характеристики твердотельных источников электромагнитного излучения СВЧ диапазона. В работе исследована нелинейная динамика антенн-генераторов (активных антенн) на полевых транзисторах в одночастотном, многочастотном и хаотическом режимах. Экспериментально обнаружена генерация и излучение электромагнитных хаотических колебаний с непрерывным спектром в диапазоне частот от 6,4 до 6,6 ГГц.

Ключевые слова: активная антенна, антенна-генератор, микрополосковая антенна, генерация хаоса.

Abstract: Integration of active device with microstrip antenna without intermediate feeders can significantly improve the weight and size characteristics of the solid-state sources of electromagnetic radiation in the microwave range. Nonlinear dynamics of microstrip active integrated antenna in the single-frequency, multi-frequency and chaotic regimes are studied in this work. Electromagnetic chaotic oscillations with a continuous spectrum in the frequency range from 6.4 to 6.6 GHz are experimentally observed.

Key words: active antenna, antenna-oscillator, microstrip antenna, chaotic oscillations.

Введение

Создание по возможности простых и дешевых устройств для генерации электромагнитного излучения является одной из главных задач современной СВЧ электроники. Понятие «активная антенна» подразумевает интеграцию активного элемента с антенной без использования промежуточных фидеров. Область применения таких устройств – преобразователи энергии СВЧ излучения в постоянный ток (ректенны), датчики различных типов, элементы систем идентификации и связи [1]. Особый интерес представляют антенны-генераторы. В качестве активного элемента в них могут выступать как диоды, способные работать в режиме автогенератора (напр., диоды Ганна), так и транзисторы. В последнее время предпочтение отдается полевым транзисторам, на которых удастся получать генерацию с достаточно высокой эффективностью в широком диапазоне частот [2, 3]. В настоящей работе исследованы различные режимы генерации активной микрополосковой антенны логопериодического типа, интегрированной с полевым транзистором (HJ-FET с максимальной рабочей частотой 26 ГГц).

Конструкция антенны-генератора

Автогенератор выполнен на основе микрополосковой технологии по схеме с общим истоком (рис. 1). В такой схеме исток транзистора замыкается непосредственно на металлизацию тыльной стороны сквозь отверстие в диэлектрической подложке. Металлизация служит экраном и земляным контактом.

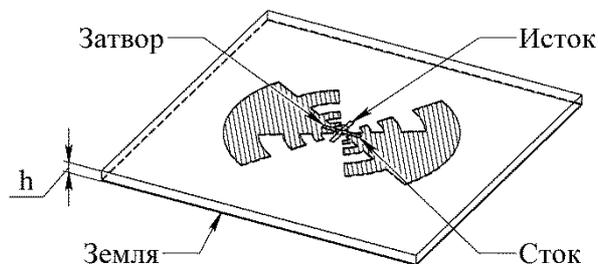


Рис. 1. Схема антенны-генератора.

Ранее, в работах [2, 4] авторами была получена стабильная одночастотная генерация в диапазоне до 20 ГГц при условии близости толщины диэлектрической подложки к четверти длины волны.

Известно [5], что при значительном уходе от четвертьволновой толщины подложки генерация микрополосковых интегрированных антенн становится нестабильной. Для исследования нестабильного режима генерации было изготовлено несколько образцов антенн-генераторов с различными геометрическими размерами микрополосковой логопериодической антенны. В качестве диэлектрической подложки был выбран RO4350В с диэлектрической проницаемостью $\sim 3,5$ и низким значением тангенса угла диэлектрических потерь. Расчетная частота генерации оценивалась исходя из модели логопериодической антенны, в которой каждый зубец представляет собой четвертьволновый резонатор [6]:

$$f_n = \frac{c}{2(R_n + r_n)\alpha\sqrt{\frac{\epsilon_d + 1}{2}}}, \quad (1)$$

где r_n – внутренний радиус зубца, R_n – внешний радиус зубца, ϵ_d – диэлектрическая проницаемость подложки, α – угловой размер зубца. На практике, в большинстве случаев, наибольший зубец (наименьшая резонансная частота) логопериодической антенны задает частоту генерации, что связано с уменьшением коэффициента усиления транзистора с ростом частоты.

Режимы работы излучателя

При толщинах диэлектрической подложки от $0,09\lambda$ до $0,15\lambda$ наблюдалась, как и ранее [4], стабильная, одночастотная генерация. Исследование показало хорошее совпадение резонансных частот антенны и частот генерации, полученных в ходе эксперимента (рис. 2). Возможно также управление частотой генерации за счет изменения напряжений смещения транзистора. Как правило, диапазон перестройки составляет не более 3%. Положительная обратная связь реализуется за счет наведения СВЧ поля в области затвора транзистора [4] (рис. 3).

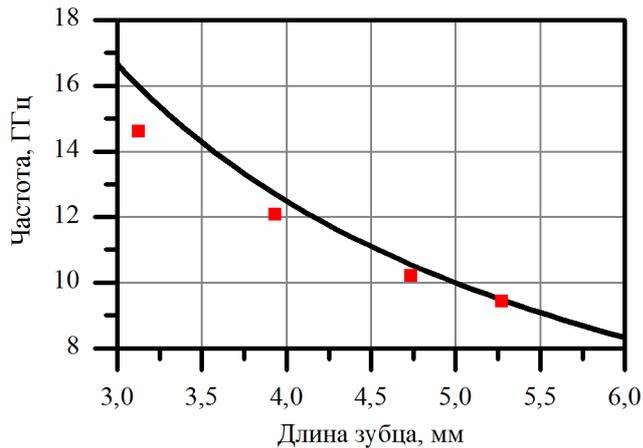


Рис. 2. Зависимость частоты генерации от длины наибольшего зубца. Сплошная кривая – расчет, точками – эксперимент

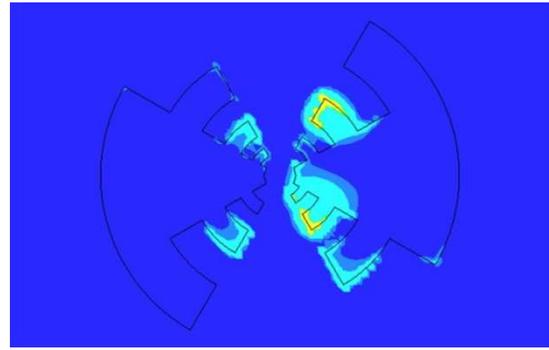


Рис. 3. Распределение плотности энергии на поверхности антенны-генератора, полученное методом численного моделирования [7]

При использовании более тонкой подложки относительно резонансной частоты (в эксперименте толщина диэлектрической подложки составила $0,06\lambda$) одночастотная генерация отсутствует. При этом, на частоте близкой к расчетной наблюдается многочастотная генерация, которая по-видимому является спектром комбинационных частот, с характерным интервалом 50 МГц между ними. За счет небольших изменений режимов питания транзистора генерацию удастся свести к хаотическим колебаниям. Такой переход наблюдается при уменьшении напряжения питания транзистора (уменьшении тока в цепи сток-исток). Динамика процесса представлена на рис. 4.

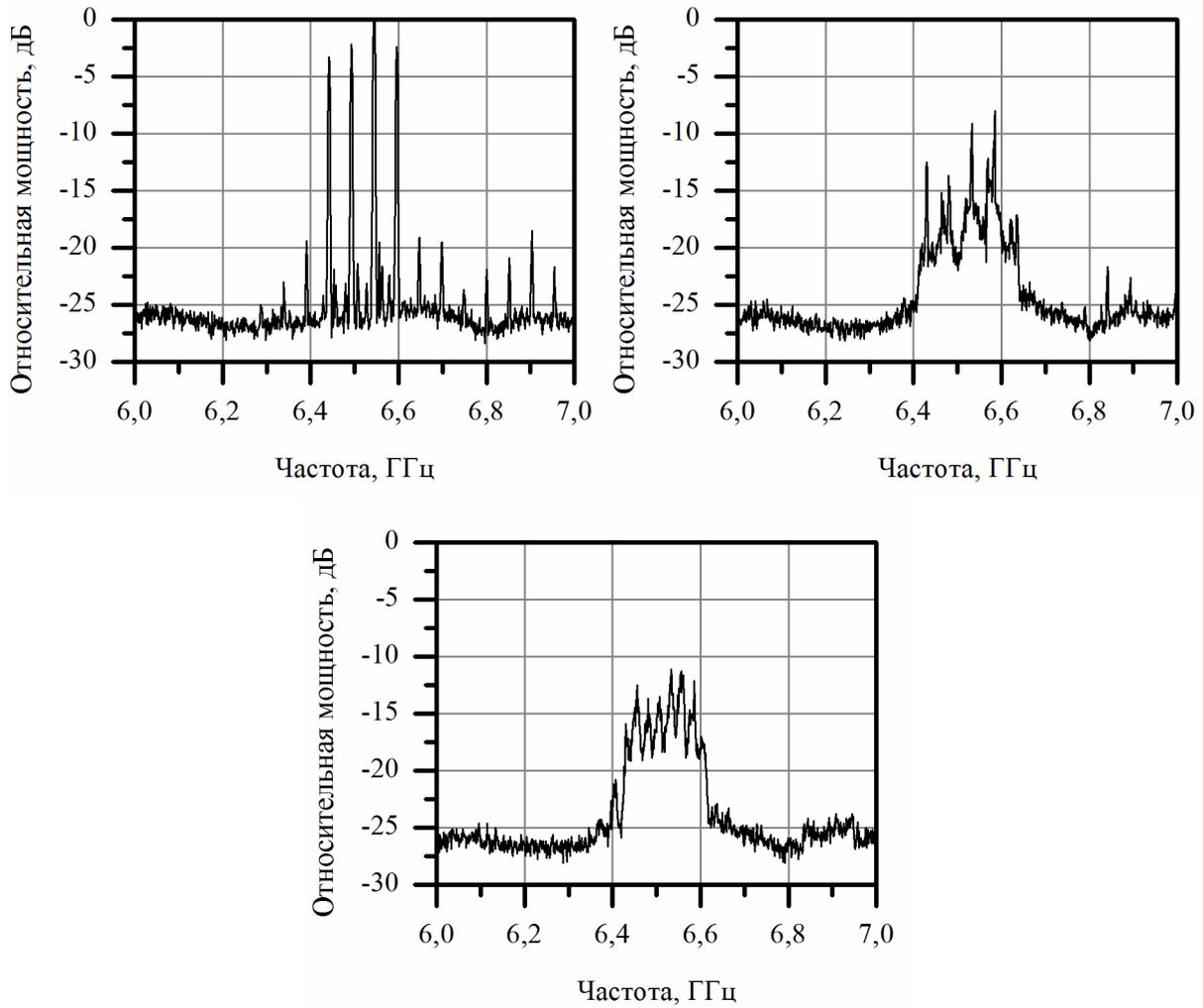


Рис. 4. Переход от многочастотной к хаотической генерации.

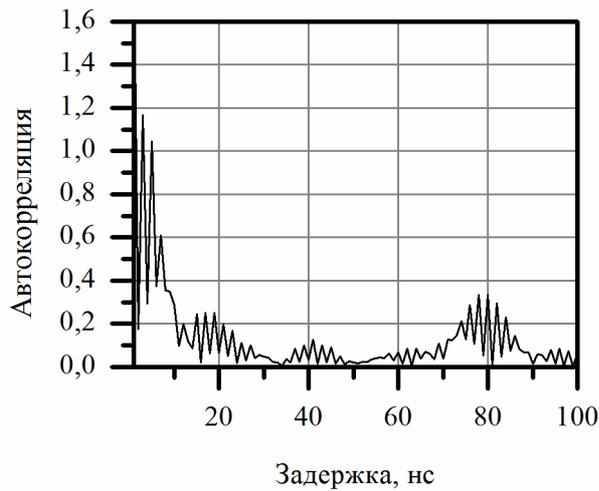


Рис. 5. Автокорреляционная функция хаотического сигнала.

Ширина спектра хаотического сигнала составила 200 МГц (около 3% от центральной частоты). Автокорреляционная функция сигнала имеет небольшие

всплески, что говорит о том, что он не является истинным хаотическим сигналом (рис. 5).

Отличительной особенностью такого излучателя является простота, которая реализуется за счет использования только одного активного элемента – полевого транзистора, и микрополосковой антенны. Это определяет его малые размеры, вес и простоту конструкции, в отличие от известных СВЧ генераторов хаоса [8].

Выводы

Микрополосковая логопериодическая антенна, интегрированная с полевым транзистором может служить в качестве миниатюрного источника одночастотного, многочастотного или хаотического излучения СВЧ, а в перспективе и КВЧ диапазона при соответствующем подборе толщины диэлектрической подложки. При толщине, близкой к четверти длины волны, наблюдается стабильная одночастотная генерация с частотой близкой к расчетной. При толщине подложки $0,06\lambda$ получен хаотический сигнал с шириной полосы около 200 МГц.

Литература

1. Oliner A.A., Jackson D.R., Volakis J.L. Antenna Engineering Handbook // McGraw Hill. – 2007.
2. Любченко В.Е. и др. Генерация миллиметровых волн в логопериодической антенне, интегрированной с полевым транзистором // Известия высших учебных заведений. – 2009. – Т. 52. – №. 8. – С. 627-631.
3. York R.A., Martinez R.D., Compton R.C. Active patch antenna element for array applications // Electronics letters. – 1990. – vol. 26. – №. 7. – pp. 494-495.
4. Любченко В.Е. и др. Генерация сверхвысокочастотных колебаний в логопериодической антенне, интегрированной с полевым транзистором // Радиотехника и электроника. – 2008. – Т. 53. – №. 11. – С. 1417-1419.

5. Murata M. et al. Active radiating butterfly antenna //Antennas and Propagation Society International Symposium, 1997. IEEE., 1997 Digest. – IEEE, 1997. – vol. 4. – pp. 2464-2467.
6. Scheuring A., Wuensch S., Siegel M. A novel analytical model of resonance effects of log-periodic planar antennas // Antennas and Propagation, IEEE Transactions on. – 2009. – vol. 57. – №. 11. – pp. 3482-3488.
7. Любченко В.Е. и др. Моделирование логопериодической печатной антенны методом пространственной матрицы передающих линий // Радиотехника и электроника. – 2013. – Т. 58. – №. 10. – С. 1044-1047.
8. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Румянцев Н.В. Генератор микроволнового хаоса с плоской огибающей спектра мощности в диапазоне 3– 8 GHz // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т. 40. – №. 2.