

ГЕНЕРАЦИЯ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ СВЧ ДИАПАЗОНА  
В МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕННАХ-ГЕНЕРАТОРАХ© 2020 г. Д. Е. Радченко<sup>а</sup>, \*, В. И. Калинин<sup>а</sup>, В. Д. Котов<sup>а</sup>, В. Е. Любченко<sup>а</sup>,  
С. В. Маречек<sup>а</sup>, Е. О. Юневич<sup>а</sup><sup>а</sup>Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
пл. Введенского, 1, Фрязино, Московской обл., 141196 Российская Федерация

\*E-mail: dm.radchenko@gmail.com

Поступила в редакцию 04.02.2019 г.

После доработки 04.02.2019 г.

Принята к публикации 05.03.2019 г.

Исследована возможность генерации шумоподобных сигналов в сантиметровом диапазоне длин волн с помощью антенн-генераторов, построенных на микрополосковой антенне логопериодического типа, интегрированной с полевым транзистором. Экспериментально определены условия возникновения шумоподобной генерации. Исследована возможность расширения шумоподобного спектра за счет использования низкочастотной шумовой модуляции. Экспериментально получена шумоподобная генерация в сантиметровом диапазоне длин волн с шириной спектра до 2 ГГц.

DOI: 10.31857/S003384942003016X

## ВВЕДЕНИЕ

Генераторы сигналов, основанные на явлении динамического хаоса, применяются в системах радиосвязи, радиолокации, радиовидения, радиоэлектронной борьбы и других областях. В качестве элементной базы применяются как вакуумные, так и полупроводниковые приборы, а диапазон частот, в которых работают генераторы хаоса, простирается до сотен гигагерц [1]. В данном контексте активные антенны, или антенны-генераторы (АГ), выполненные в виде микрополосковой антенны, интегрированной с активным элементом (например, диодом или транзистором), без использования промежуточных фидеров, представляют интерес. Они позволяют создавать малогабаритные источники излучения в широком диапазоне частот, в том числе в виде многоэлементных матриц [2]. Генерация в зависимости от условий может быть одночастотной или многочастотной, наблюдалась также стохастизация колебаний [3].

В данной работе исследована возможность генерации шумоподобных сигналов в сантиметровом диапазоне волн с помощью микрополосковых антенн-генераторов на полевых транзисторах.

1. КОНСТРУКЦИЯ  
АНТЕННЫ-ГЕНЕРАТОРА

В основе антенны-генератора лежит микрополосковая логопериодическая антенна с включенным в ее плечи полевым транзистором (рис. 1). Антенна расположена на тонкой (0.25 мм) диэлектрической подложке, с обратной стороны ко-

торой на расстоянии  $d$  находится металлический экран. Представленная конструкция позволяет изменять расстояние между антенной и отражающим экраном.

Эксперименты проводили с использованием полевых транзисторов NE3514S02 с рабочей частотой до 20 ГГц. Сток и затвор транзистора присоединены к лепесткам антенны, исток “заземлен”.

Рассматриваемая логопериодическая антенна представляет собой совокупность колебательных контуров. Основной является частота, определяемая длиной наибольшего зубца  $l$ , примерно равной четверти эффективной длины волны в диэлектрике [4, 5]:

$$l = \lambda_{\text{эф}}/4,$$

где  $\lambda_{\text{эф}} = \lambda/\sqrt{\epsilon_{\text{эф}}}$  – эффективная длина волны,  $\lambda$  – длина волны в вакууме,  $\epsilon_{\text{эф}} \approx (\epsilon_r + 1)/2$  – эффективная диэлектрическая проницаемость.



Рис. 1. Конструкция и схема включения антенны-генератора;  $d$  – расстояние между плоскостью антенны и металлическим экраном.

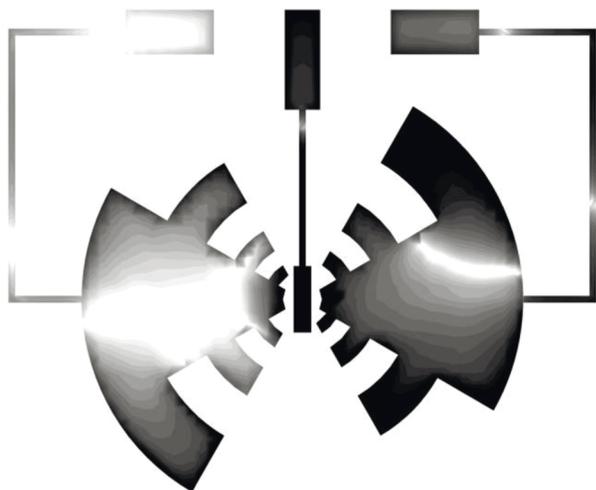


Рис. 2. Плотность электрической энергии при возбуждении одного лепестка антенны;  $d = 0.5$  мм.

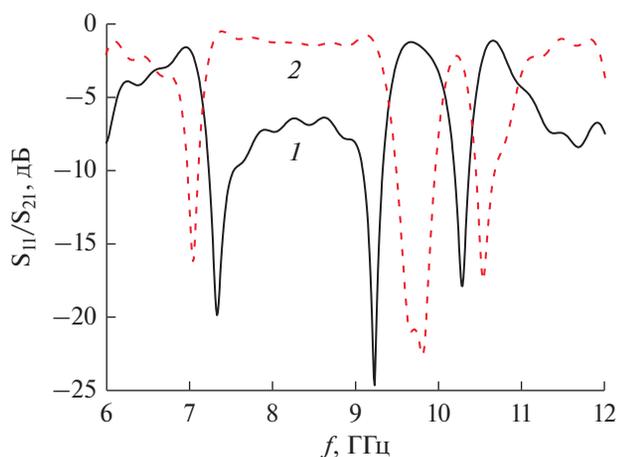


Рис. 3. Зависимость коэффициентов отражения (1) и обратной связи (2) от частоты при возбуждении одного лепестка антенны;  $d = 0.5$  мм.

Из расчета микрополосковой антенны логопериодического типа, проведенного методом пространственной матрицы передающих линий [6], при возбуждении одного из лепестков антенны, следует, что в данной схеме обратная связь реализуется за счет наведения СВЧ-поля в области затвора транзистора. Это видно из распределения плотности энергии по площади антенны (рис. 2), где наиболее темный цвет соответствует наибольшему значению энергии электрического поля. На рис. 3 представлены зависимости коэффициента отражения ( $S_{11}$ ) и коэффициента передачи ( $S_{21}$ ) от частоты. Из рисунка видно, что в диапазоне частот 7...11 ГГц существуют области с минимальным отражением и высоким коэффициентом передачи (коэффициент обратной связи), что является необходимым условием для начала генерации.

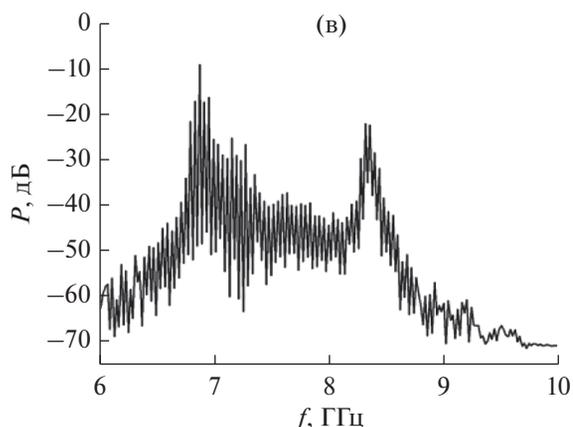
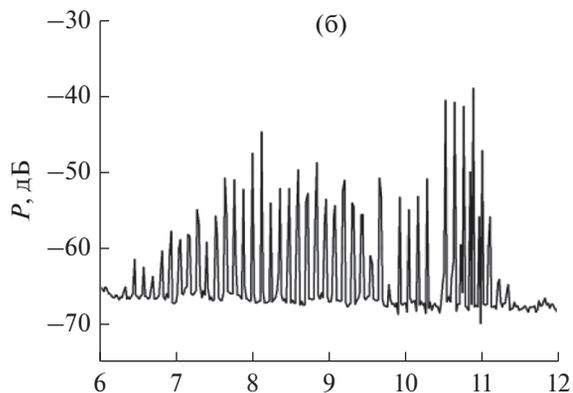
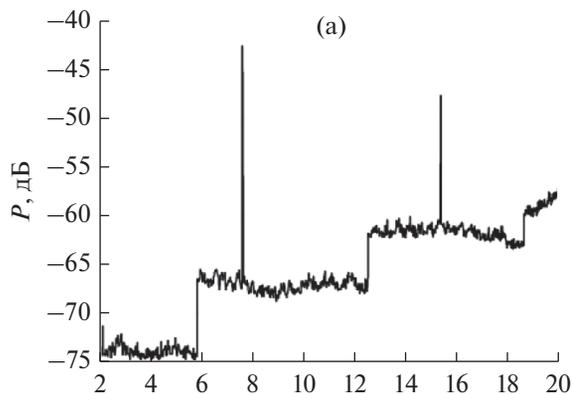


Рис. 4. Генерация на основной частоте и второй гармонике при  $I_{\text{СИ}} = 20$  мА (а), многочастотная генерация при  $I_{\text{СИ}} = 15$  мА (б);  $d = 0.5$  мм и генерация шумоподобного сигнала при  $I_{\text{СИ}} = 10$  мА;  $d = 0.75$  мм (в).

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Как показывают эксперименты, в такой схеме возможно возбуждение одночастотной, многочастотной и шумоподобной генерации. Тип генерации зависит от многих параметров, в том числе от расстояния между плоскостью антенны и металлическим экраном, а также от параметров транзистора и положения рабочей точки. Переход к хаосу в случае малых расстояний между плоскостью антенны и отражающим экраном ( $d < 0.1\lambda$ ) представлен на рис. 4а, 4б и 4в.

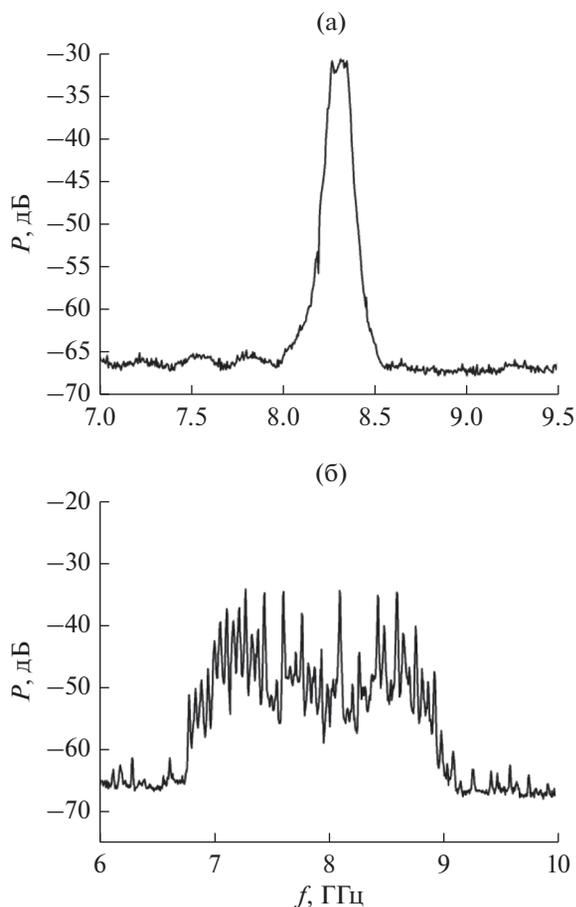


Рис. 5. Генерация шумоподобного сигнала при использовании внешнего генератора шума при различных параметрах: а)  $d = 12.5$  мм,  $I_{си} = 30$  мА, б)  $d = 0.45$  мм,  $I_{си} = 17$  мА.

Переход к хаотической генерации, как правило, требует тонкой подстройки рабочей точки транзистора за счет изменения напряжений в цепи затвор–исток  $U_{зи}$  и в цепи сток–исток  $U_{си}$ , а также расстояния между плоскостью антенны и металлическим экраном. Получить воспроизводимым образом относительно равномерный шумоподобный спектр не удастся.

Для улучшения спектральной характеристики и обеспечения воспроизводимости результатов был исследован режим работы генератора с использованием внешнего низкочастотного шумового сигнала [7, 8]. Генератор низкочастотного шума с полосой до 80 МГц и максимальной амплитудой до 300 мВ подключали к затвору транзистора. В этом случае переход к шумоподобной генерации возможен в более широком диапазоне токов в цепи сток–исток, а зависимость спектра

от расстояния между плоскостью антенны и металлическим экраном сохраняется.

При расстояниях, близких к четверти длины волны, когда в отсутствие модуляции шумовым низкочастотным сигналом наблюдается одночастотная генерация, подключение генератора шума приводит к возникновению сплошного спектра хаотических колебаний со сравнительно небольшой неравномерностью (рис. 5а). 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 хаотических колебаний может достигать 2 ГГц (рис. 5б).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получение шумоподобной генерации в схеме микрополосковой антенны–генератора с полевым транзистором сопряжено 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 хаотических колебаний. При этом ширина спектра может достигать 2 ГГц.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Максимов Н.А., Панас А.И. Генерация хаоса. М.: Техносфера, 2012. С. 423.
2. Lin J., Itoh T. // IEEE Trans. 1994. V. MTT-42. № 12. P. 2186.
3. Любченко В.Е., Юневич Е.О., Калинин В.И. и др. // Журн. радиоэлектроники. 2015. № 1. С. 1. <http://jre.cplire.ru/jre/jan15/5/text.pdf>
4. Gitin M.M., Wise F.W., Arjavalingam G. et al. // IEEE Trans. 1994. V. AP-42. P. 335.
5. Scheuring A., Wuensch S., Siegel M. // IEEE Trans. 2009. V. AP-57. № 11. P. 3482.
6. Любченко В.Е., Телегин С.А., Юневич Е.О. // Радиотехника. 2013. № 4. С. 82.
7. Котов В.Д., Мясин Е.А. // Письма в ЖТФ. 2017. Т. 43. № 22. С. 69.
8. Мясин Е.А., Котов В.Д. // РЭ. 2018. Т. 63. № 10. С. 1083.