

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.11.12>

УДК: 621.396

## СТОХАСТИЗАЦИЯ СВЧ КОЛЕБАНИЙ В МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛОГОПЕРИОДИЧЕСКОЙ АНТЕННЕ-ГЕНЕРАТОРЕ В УСЛОВИЯХ МОДУЛЯЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫМ ШУМОВЫМ СИГНАЛОМ

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

ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал  
141190, г. Фрязино, пл. Введенского 1

Статья поступила в редакцию 7 ноября 2021 г.

**Аннотация.** Твердотельные генераторы шумоподобных сигналов СВЧ диапазона представляют интерес для систем радиосвязи, радиовидения и средств радиоэлектронной борьбы. В данной работе исследована возможность создания источника шумового излучения, в основе которого лежит микрополосковая антенна логопериодического типа, интегрированная с полевым транзистором, работающая в режиме одночастотной и многочастотной генерации с модуляцией низкочастотным шумовым сигналом. Экспериментально изучена возможность управления спектральными характеристиками генератора, состоящего из трёх активных антенн, и расширения спектра излучения. Получена генерация с шириной спектра 1 – 2 ГГц в диапазоне 5 – 7 ГГц.

**Ключевые слова:** СВЧ, автогенератор, шум, 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. In the paper, the possibility of power combining in the array of three independent noise-like oscillators is investigated. The noise-like oscillators are based on the microstrip log-periodic antennas which are integrated with field-effect transistors. As an active element, NE350184C field-effect transistor with 13.5 dB gain at 12 GHz is chosen. It was previously shown that single-frequency, multifrequency or noise-like generations are possible in the active antennas. The main factors that affect the generation type are the current in the drain-source circuit of the transistor and the

distance between the antenna plane and reflecting screen. It is experimentally shown, that using of the noise-like oscillator arrays makes possible the spectrum and power combining, but the construction is not enough stable and reliable.

**Key words:** microwaves, self-oscillator, noise, log-periodic antenna, field-effect transistor.

## **Введение.**

Создание малогабаритных генераторов шума (ГШ) на основе микрополосковых антенн-генераторов (АГ) открывает новые возможности для решения задач радиовидения, радиосвязи и радиолокации в сантиметровом и миллиметровом диапазонах электромагнитных волн [1 – 4]. Возможность стохастизации колебаний СВЧ диапазона в АГ на основе антенны логопериодического типа и полевого транзистора была экспериментально продемонстрирована в [5]. Использование низкочастотного шума в качестве модулирующего сигнала позволяет существенно улучшить спектр шумового излучения [2, 6], однако сам режим стохастизации СВЧ колебаний в АГ является неустойчивым и трудно воспроизводимым. В настоящей работе исследована возможность генерации шумоподобных сигналов в СВЧ диапазоне путем модуляции колебаний АГ, работающего в режиме одночастотной или многочастотной генерации, низкочастотным шумом от внешнего источника, а также попытка сложения мощностей и спектров двух и трех независимо работающих генераторов.

## **1. Конструкция антенны-генератора шумоподобных сигналов.**

В основе конструкции генератора лежит антенна логопериодического типа, интегрированная с полевым транзистором и устройство, необходимое для регулировки частоты генерации, которое представляет собой подвижный металлический экран [4]. Общий вид устройства представлен на рис. 1.

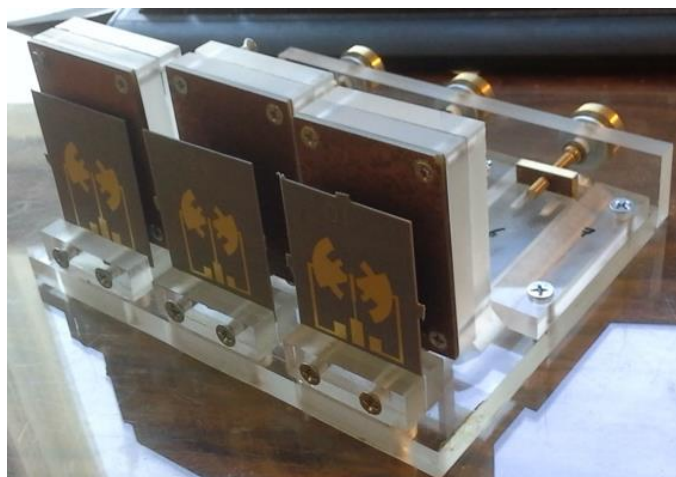


Рис. 1. Общий вид линейки антенн-генераторов с перестройкой частоты.

Эксперименты проводились с использованием транзисторов NE350184С. Сток и затвор транзистора присоединяются непосредственно к лепесткам антенны. Исток соединяется с контактной площадкой в одной плоскости с антенной для подключения к земле. Для модуляции колебаний основной частоты на затвор транзистора подавался сигнал от генератора шума с полосой до 80 МГц по уровню -22 дБм.

## 2. Результаты измерений.

Для изучения процессов, происходящих в системе из трех АГ и возможного сложения мощностей этих колебаний, была изготовлена партия генераторов, работающая в диапазоне 5 – 7 ГГц, а также блок питания из трех независимых источников для питания транзисторов, с источниками низкочастотного шумового сигнала. Измерения спектров излучения одиночных АГ показали, что расширения шумового спектра в области максимума спектральной линии не происходит, воздействие НЧ шума приводит только к расширению спектра в нижней части спектральной кривой. Видимо, в нашем случае имеет место амплитудная модуляция, вызываемая изменением проводимости канала транзистора. Для проверки этого предположения на выход генератора НЧ шума был включен фильтр, вырезающий самую низкочастотную часть модулирующего шума от 0 до 30 МГц. В результате получена амплитудная

модуляция низкочастотным сигналом (в данном случае шумовым) с двумя боковыми полосами (рис. 2).

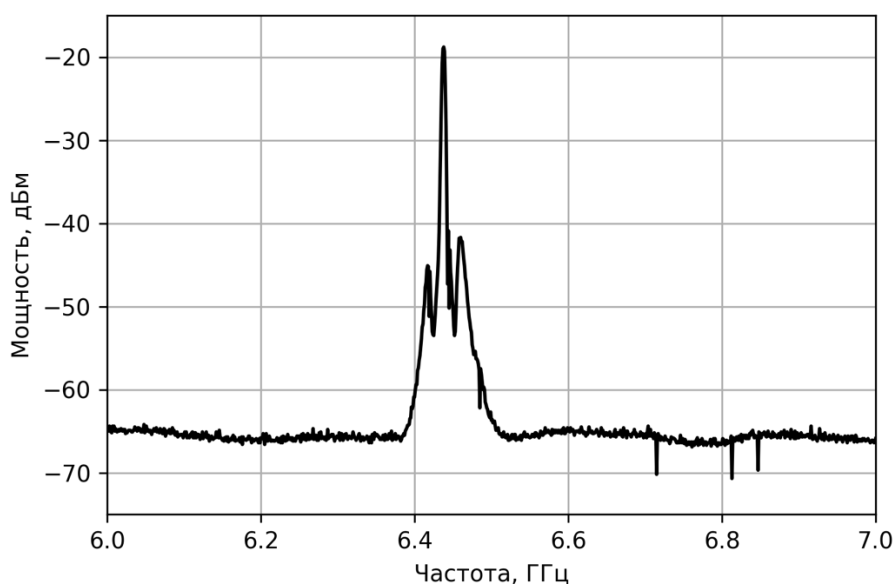


Рис. 2. Спектр генерации одной АГ при подаче НЧ шума 30 – 80 МГц.

Шумоподобный спектр генерации одновременно трех АГ получается сильно изрезанным (рис. 3)

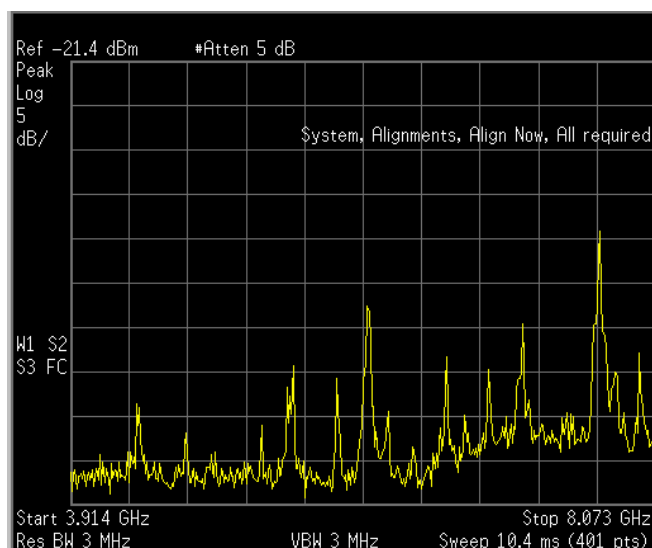


Рис. 3. Работают одновременно три образца с расчетной частотой 6 ГГц, 6,4ГГц и 6,6 ГГц. Подключен НЧ шум с полосой 30 – 80 МГц.

Поскольку при работе полевого транзистора изменяется не только проводимость канала, но и барьерная емкость затвора, можно ожидать наряду с амплитудной модуляцией и фазовую модуляцию, позволяющую расширить спектр именно в области максимальных амплитуд сигналов. Такой спектр иногда

наблюдается (рис. 4), однако воспроизводимо получить его не удастся, возможно, в связи с тем, что в экспериментах преобладает именно амплитудная модуляция.

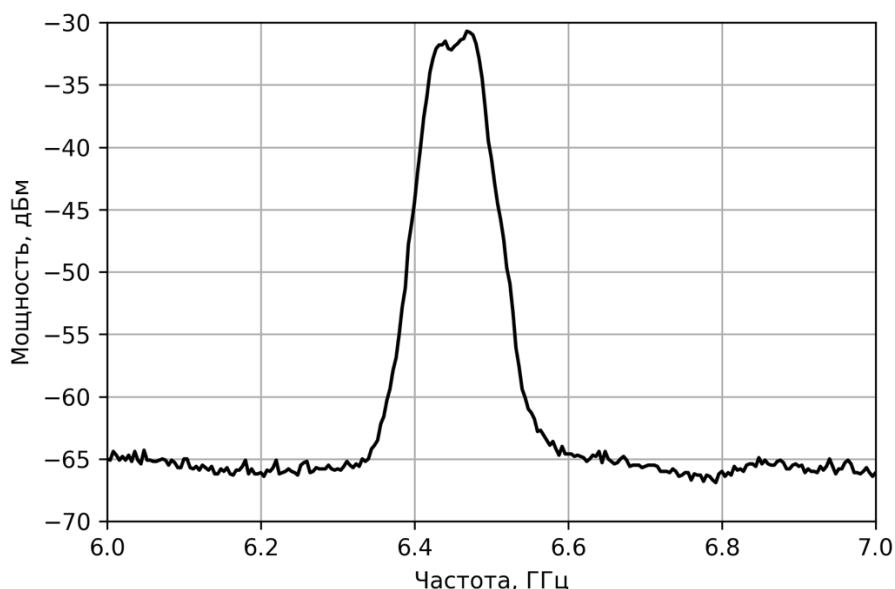


Рис. 4. Спектр генерации одиночной АГ с модулирующим НЧ шумом.

Увеличить роль фазовой модуляции можно включив между истоком и стоком полевого транзистор варикапа. Попытка стохастизации колебаний АГ, работающего в многочастотном режиме после подключения варикапа в цепь исток-затвор, показала возможность существенного расширения спектра генерации шумоподобных сигналов. При этом спектр становится линейчатым. При включении НЧ модуляции хорошо видно уширение каждой спектральной линии, причем не только в районе пьедестала кривой, но и в области вершины (рис. 5).

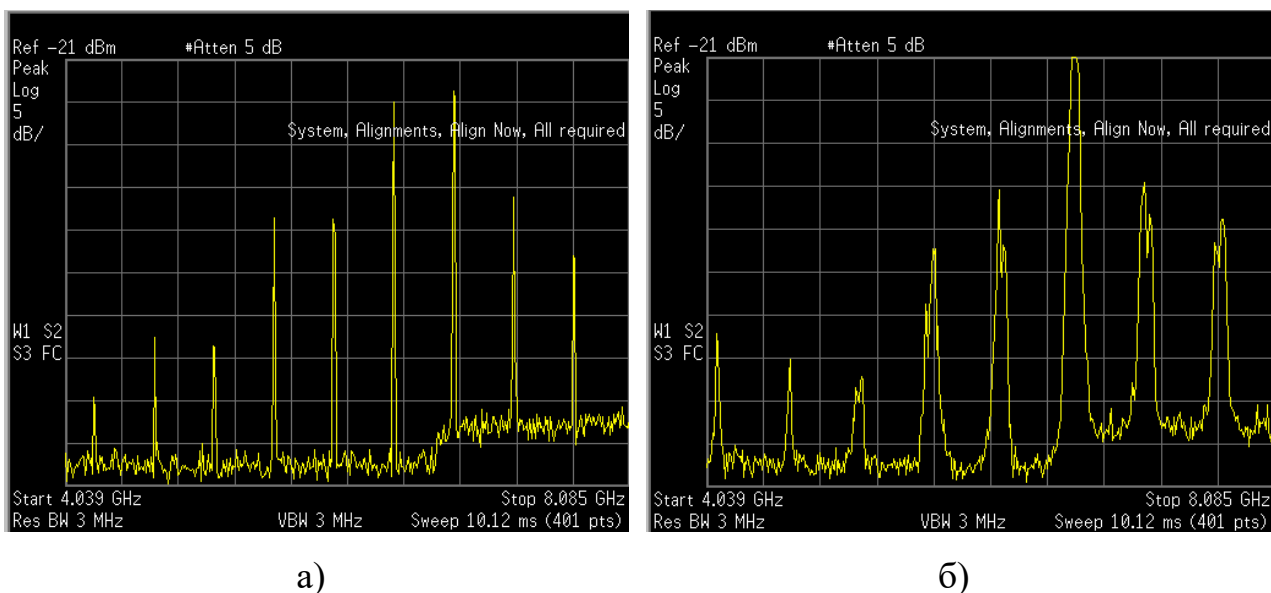


Рис. 5. Спектры излучения одиночной АГ в режиме многочастотной генерации: а) без модуляции; б) с модуляцией НЧ шумовым сигналом.

Большое влияние на вид спектра оказывает расстояние от плоскости антенны до отражающего экрана. В экспериментах эта величина изменялась от 2 до 20 мм. При этом генерация могла вообще не возникнуть, либо возникнуть в виде одиночного спектрального импульса, либо в виде последовательности импульсов, либо еще в виде более сложной спектральной картины. Кроме того, вид спектра зависит еще и от величины тока сток – исток, а также связан с наличием или отсутствием НЧ шумовой модуляции.

При попытках суммировать излучение двух или трех АГ ситуация еще больше усложняется. В экспериментах удалось получить сложение мощностей от трёх АГ, при этом наблюдалась шумоподобная генерация полосой до 1 – 2 ГГц с высокой неравномерностью спектра (рис. 6).

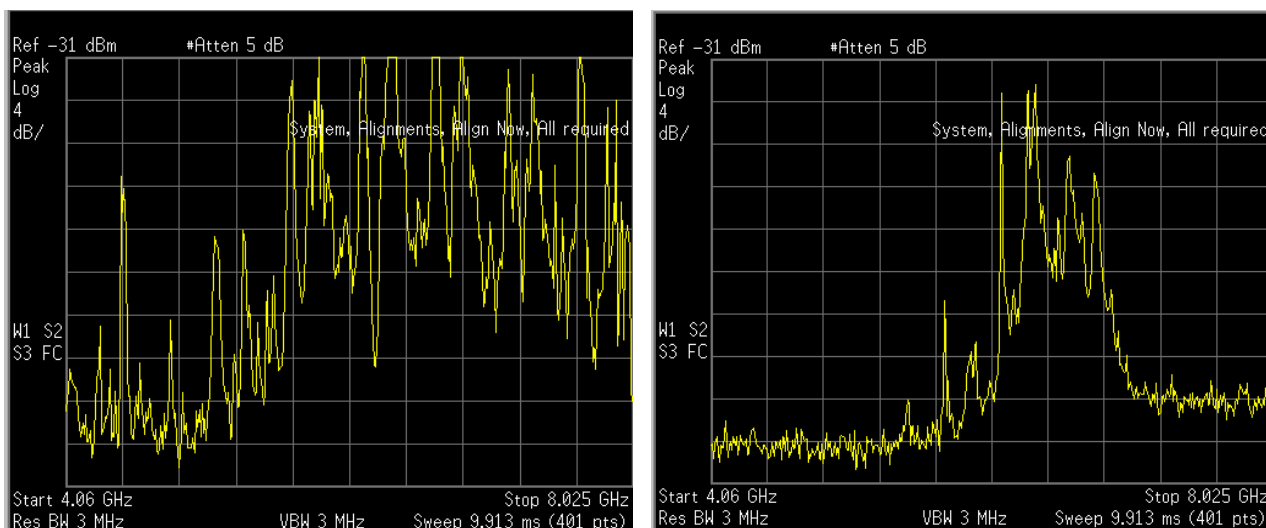


Рис. 6. Спектр излучения одновременно включенных трех АГ при различных настройках резонаторов.

Видимо, сказывается сильное взаимное влияние излучателей через боковые лепестки диаграммы направленности и отраженного от металлического экрана (рис. 1) сигнала, который, в условиях настройки резонатора за счёт изменения расстояния от плоскости антенны до отражающего экрана, является определяющим в формировании вида спектра. Можно сказать, что выбранная схема плоского открытого резонатора для настройки сумматора является неудачной и требует другого решения.

### Заключение.

Генерация стохастических колебаний путем модуляции низкочастотным шумом устойчиво генерируемых одночастотных или многочастотных сигналов микрополосковых антенн-генераторов в принципе возможна, но сложение мощностей и спектров нескольких АГ требует более надежного устройства перестройки частоты, например замены подвижного металлического экрана цилиндрическим резонатором, перестраиваемым с помощью короткозамыкающего поршня с микроподачей.

### Финансирование.

Работа выполнена в рамках госзадания и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-07-00634-а).

## Литература

1. Дмитриев А.С. и др. *Генерация хаоса*. Москва, Техносфера. 2012. 423 с.
2. 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. <https://doi.org/10.1134/S0033849418100145>
3. Максимов Н.А. Сверхширокополосный генератор хаотических колебаний микроволнового диапазона с дополнительным нелинейным контуром. *Письма в ЖТФ*. 2019. Т.45. №23. С.51-54. <http://doi.org/10.21883/PJTF.2019.23.48721.17932>
4. Радченко Д.Е. и др. Генерация шумоподобных сигналов СВЧ диапазона в микрополосковых антеннах-генераторах. *Радиотехника и электроника*. 2020. Т.65. №3. С.285-287. <https://doi.org/10.31857/S003384942003016X>
5. 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>
6. Радченко Д.Е. и др. Хаотизация колебаний СВЧ диапазона в микрополосковых антеннах-генераторах при воздействии низкочастотного шума. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2018. №9. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2018.9.17>
7. Радченко Д.Е. и др. Генерация шумоподобного излучения СВЧ диапазона в одномерной решетке микрополосковых антенн-генераторов. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2019. №12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2019.12.5>

### Для цитирования:

Юневич Е.О., Калинин В.И., Любченко В.Е., Маречек С.В., Радченко Д.Е. Стохастизация СВЧ колебаний в микрополосковой логопериодической антенне-генераторе в условиях модуляции низкочастотным шумовым сигналом. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №11. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.11.12>



