

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.1.9>

УДК: 621.382.32; 621.373

**УПРАВЛЕНИЕ СПЕКТРОМ ГЕНЕРАЦИИ
В МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ МАТРИЦАХ
МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН-ГЕНЕРАТОРОВ,
РАБОТАЮЩИХ В РЕЖИМЕ СТОХАСТИЗАЦИИ КОЛЕБАНИЙ**

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

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

Статья поступила в редакцию 14 ноября 2022 г.

Аннотация. Использование активных микрополосковых антенн, или антенн-генераторов (АГ) на полевых транзисторах, позволяет создавать малогабаритные источники излучения в широком диапазоне частот, в том числе в виде многоэлементных матриц с возможностью сложения в пространстве мощности излучения парциальных АГ. Генерация излучения СВЧ диапазона (5-20 ГГц) в зависимости от условий может быть одночастотной или многочастотной, получена также генерация шумоподобных сигналов. Суммирование мощности излучения АГ, работающих в режиме стохастизации колебаний, представляет самостоятельный интерес. В отличие от фазированных антенных решеток, где суммирование мощности достигается в условиях синхронизации генераторов монохроматических колебаний, взаимодействие генераторов стохастических колебаний является сложным нелинейным процессом, приводящим к радикальному изменению общего спектра излучения. Более перспективным представляется суммирование спектров и мощности шумового излучения независимых АГ с близкими и регулируемые частотами генерации. В настоящей работе изучены возможности суммирования мощности

и спектров излучения группы АГ с учетом возможности их взаимной синхронизации.

Ключевые слова: СВЧ, автогенератор, шумовые колебания, логопериодическая антенна, полевой транзистор.

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

Автор для переписки: Телегин Сергей Александрович, telegins@bk.ru

Введение

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 [1]. Используются различные типы антенн, среди которых особое внимание привлекают антенны логопериодического типа, благодаря высокой добротности в широком диапазоне частот. Генерация излучения СВЧ диапазона (5-20 ГГц) в зависимости от конструкции АГ может быть одночастотной или многочастотной, наблюдалась также хаотизация колебаний. Неравномерность спектра хаотической (шумовой) генерации можно уменьшить при внешнем воздействии низкочастотным шумовым сигналом [2]. В настоящей работе исследуются возможности суммирования мощностей и спектров излучения группы АГ, одновременно работающих в режиме хаотической генерации (стохастизации) колебаний.

1. Конструкция антенны-генератора

Основу конструкции АГ составляет микрополосковая антенна на диэлектрической подложке (рис. 1). Металлическая пленка с тыльной стороны подложки является экраном, отражающим возбуждаемые антенной электромагнитные волны.

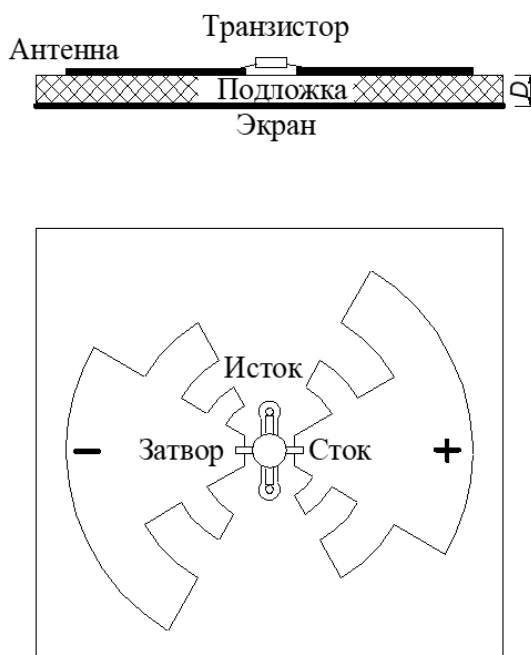


Рис. 1. Логопериодическая антенна (ЛПА), интегрированная с полевым транзистором, на диэлектрической подложке, металлизированной с обратной стороны

Моделирование распределения плотности электрической энергии в плоскости логопериодической антенны показало [3], что основная энергия излучения сосредоточена вблизи зубцов. Это позволяет подавать напряжение питания транзистора непосредственно через лепестки антенны. Исток транзистора через отверстие соединяется с металлизацией тыльной стороны подложки, которая одновременно служит землей в схеме питания транзистора. В качестве активных элементов использовались полевые транзисторы с максимальной рабочей частотой 20-25 ГГц. Излучаемая мощность такого генератора на частоте 10-15 ГГц составляла 5-7 мВт при КПД до 20%.

2. Результаты измерений

Основная частота генерации в ЛПА обычно возникает на частоте, определяемой первым, наиболее длинным, зубцом [3]. Наиболее эффективная генерация наблюдается при толщине подложки (D), близкой к четверти длины волны в диэлектрике, что свидетельствует о существенной роли отражающего экрана (рис. 2а). При меньшей толщине диэлектрика с помощью выбора рабочей точки транзистора может быть получен спектр, в котором основной гармоникой

сигнала является более низкая частота, по-видимому, связанная с резонансом всей плоскости антенны (рис. 2б). При включении генератора с произвольно выбранной рабочей точкой транзистора обычно возникает многочастотный спектр, не связанный с размерами антенны (рис. 3).

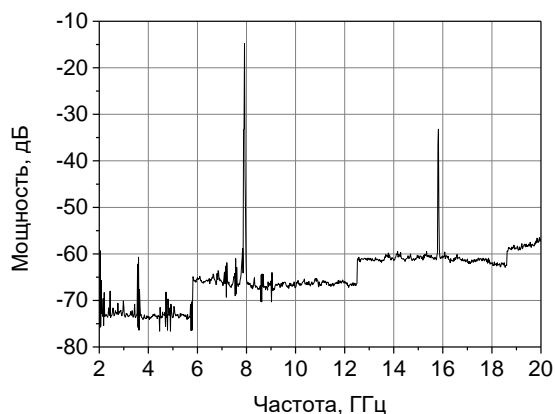


Рис. 2а. Основная частота генерации 16 ГГц, $D = 0,25\lambda$

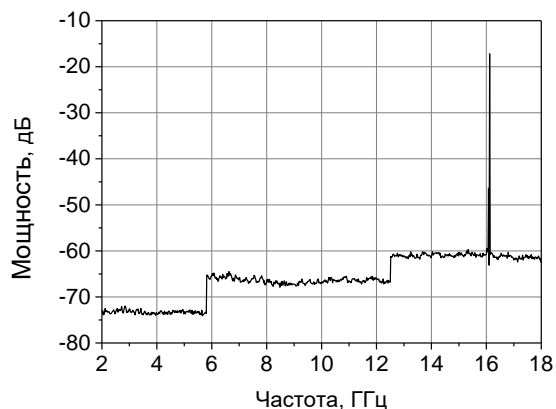


Рис. 2б. Основная частота генерации 16 ГГц, $D < 0,25\lambda$

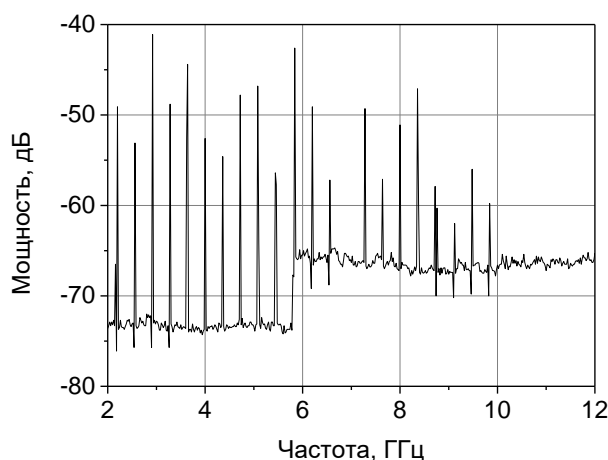


Рис. 3. Спектр генерации при основной частоте 13 ГГц без настройки рабочей точки транзистора

При настройке генератора в резонанс по наибольшему зубцу антенны и при модуляции НЧ шумом удалось получить шумоподобный спектр шириной более 500 МГц (рис. 4).

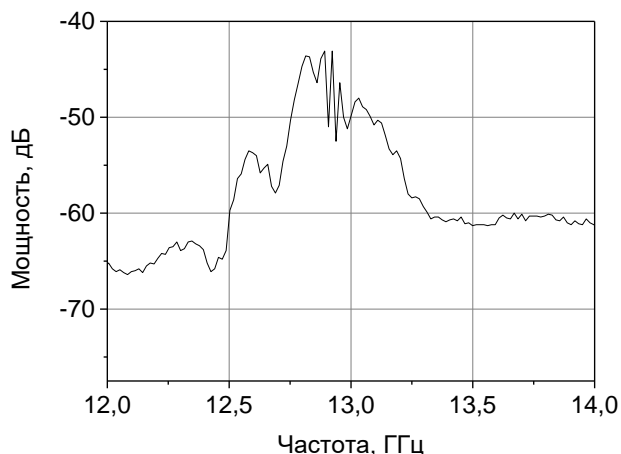


Рис. 4. Одиночная АГ, основная частота 13 ГГц, включен НЧ шум

В результате сложения в пространстве многочастотных излучений от двух или трех АГ наблюдалось суперпозиция спектров и формирования более плотного многочастотного спектра (рис. 5а). При этом отсутствовала взаимная стохастическая синхронизация парциальных колебаний генераторов [4] вследствие того, что отдельные спектральные составляющие заметно отличались друг от друга. Однако при внешнем воздействии низкочастотного шума на отдельные АГ многочастотный спектр преобразовывался в квазишумовой в результате расширения каждой спектральной составляющей. Общая ширина спектра шума достигала 8 ГГц с неравномерностью спектральной плотности спектра порядка ± 10 дБ (рис. 5б).

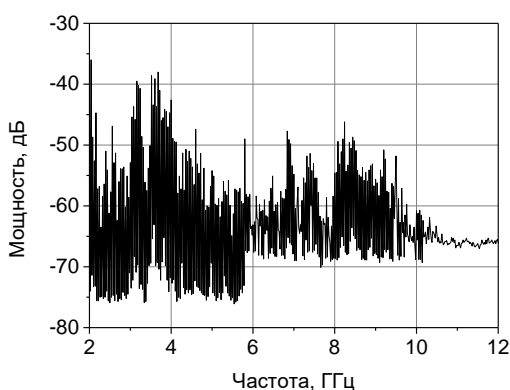


Рис. 5а. Суперпозиция двух спектров (основная частота 17 ГГц и 17,5 ГГц)

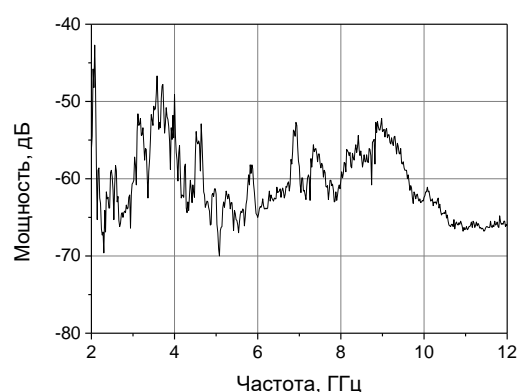


Рис. 5б. Суперпозиция двух спектров (основная частота 17 ГГц и 17,5 ГГц), включен НЧ шум

Логопедическая структура антенны, обладая сложной геометрией, представляет собой многорезонансную колебательную систему. При плотной упаковке антенн-генераторов в матрице колебательные системы имеют между собой сильную связь. Возбуждение генерации в такой многорезонансной логопедической структуре возможно одновременно на многих частотах, если выполняется баланс фаз и баланс амплитуд. Учитывая то обстоятельство, что коэффициент усиления транзистора в области относительно малых частот почти на порядок больше чем в области основной рабочей частоты генератора, наиболее вероятным становится возбуждение генерации в области 2-6 ГГц. Изменяя параметры транзистора (напряжение на затворе и ток стока), расстояние между экраном и логопедической структурой (изменение емкости и индуктивности) можно добиться выполнения условий баланса фаз и амплитуд, т.е. возникновения генерации на одной или нескольких основных частотах антенны. Однако получить близкие по частоте спектры чрезвычайно сложно из-за разброса параметров транзисторов. Настроить частоту колебательного контура в резонанс с антенной возможно, изменяя один из параметров колебательного контура, а именно изменяя емкость экрана относительно антенны. Для этого было разработано устройство, позволяющее плавно перемещать отражающий экран относительно антенны [5]. Плавное перемещение металлического экрана, отражающего СВЧ излучение, позволило перестраивать частоту генерации, и добиваться режима самовозбуждения контура близкого к резонансу одной из основных мод антенны. Полученные таким образом спектры (рис. 6), во-первых, имеют частоту генерации, определяемую геометрией антенны, в данном случае всего всей плоскости антенны, во-вторых, при небольших изменениях положения экрана позволяют изменять частоту и форму спектральной кривой, что позволяет наиболее эффективно суммировать мощности и спектры.

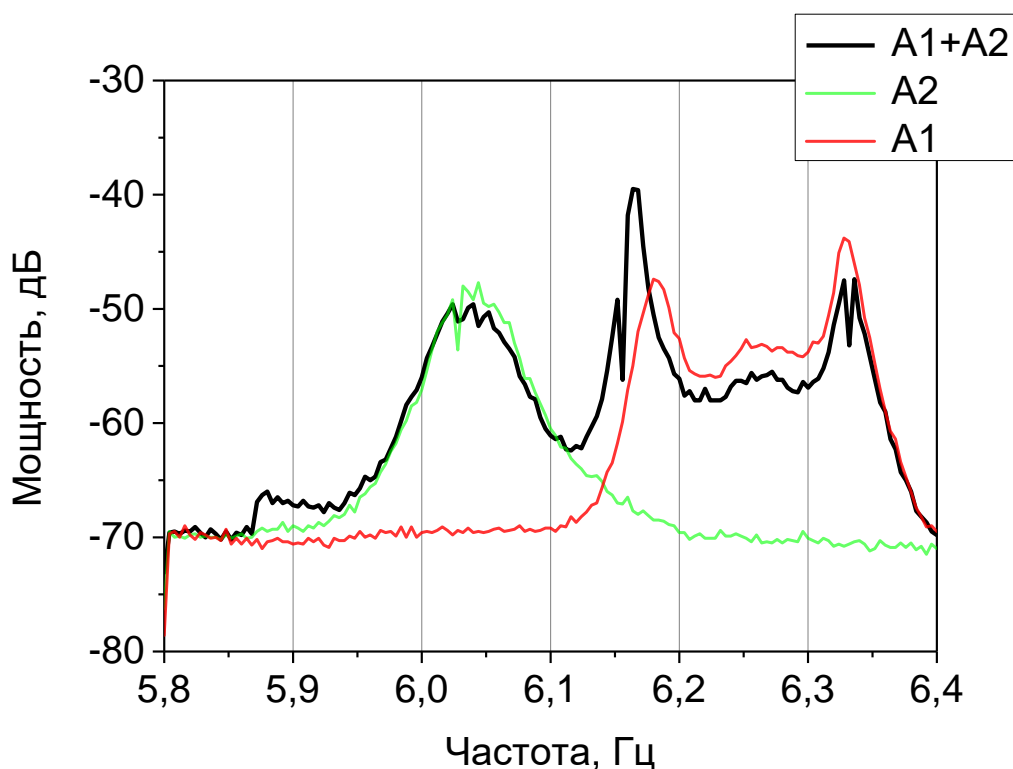


Рис. 6. A1 и A2 – независимо работающие антенны-генераторы;
A1+A2 – суммарный спектр

Заключение

Получение шумоподобной генерации микрополосковых антенн-генераторов в заданном частотном диапазоне и заданной мощности может быть обеспечено суммированием мощностей нескольких независимых генераторов. При объединении нескольких АГ и соответствующем подборе основных частот генерации можно составить достаточно широкий спектр генерации шумовых сигналов в СВЧ диапазоне.

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

Автор для переписки: Телегин Сергей Александрович, telegins@bk.ru

Литература

1. Любченко В.Е., и др. Активные микрополосковые антенны и фазированные решетки на полевых транзисторах. *РЭНСИТ: радиоэлектроника, наносистемы, информационные технологии*. 2015. Т.7. №1. С.3-14.
2. Радченко Д.Е., и др. Хаотизация колебаний СВЧ диапазона в микрополосковых антеннах-генераторах при воздействии низкочастотного шумового сигнала. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2018. №9. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2018.9.17>
3. Любченко В.Е., и др. Многочастотная и хаотическая генерация в микрополосковой антенне, интегрированной с полевым транзистором. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2015. №1.
4. Boccaletti S., et al. The synchronization of chaotic systems. *Physics Reports*. 2002. V.366. P.1-101.
5. Юневич Е.О., и др. Стохастизация СВЧ колебаний в микрополосковой антенне-генераторе в условиях модуляции низкочастотным шумовым сигналом. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №11. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.11.21>

Для цитирования:

Любченко В.Е., Калинин В.И., Маречек С.В., Радченко Д.Е., Телегин С.А., Юневич Е.О. Управление спектром генерации в многоэлементных матрицах микрополосковых антенн-генераторов, работающих в режиме стохастизации колебаний. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2023. №1. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2023.1.9>