

ОДНОЧАСТОТНЫЙ СВЧ-ГЕНЕРАТОР НА Si-Ge-ТРАНЗИСТОРЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКОЧАСТОТНОГО ШУМОВОГО СИГНАЛА

Впервые экспериментально исследовано воздействие низкочастотного (0,01–3 МГц) шумового сигнала (НЧШС) на СВЧ-генератор Колпитца, находящийся в режиме детерминированных колебаний. В качестве активного элемента в генераторе использовался Si-Ge-транзистор. Показана возможность управления динамическими режимами генератора с преобразованием детерминированных колебаний в шумовые.

К настоящему времени исследовано множество самых разнообразных систем, демонстрирующих хаотическую динамику [1]. В работе [2] показано, что, воздействуя низкочастотным шумовым сигналом на цепь питания ЛПД, можно перевести генератор одночастотных колебаний на ЛПД (ГЛПД) в режим шумовой генерации. Утверждается, что результат такого воздействия связан с разрушением сгустка носителей в пространстве дрейфа *p-n*-перехода ЛПД. Отсюда следует, что в полупроводниковом генераторе, активный элемент которого содержит *p-n*-переход, а следовательно, происходит направленное движение носителей, сгруппированных ВЧ-полем одночастотных колебаний, данный эффект также должен иметь место. Косвенно это подтверждает эксперимент работы [3].

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектом исследования является СВЧ-генератор Колпитца на биполярном Si-Ge-транзисторе упрощенной конструкции [4] в режиме генерации одночастотных колебаний под воздействием НЧШС 0,1–3 МГц. Схема генератора на биполярном Si-Ge-транзисторе была выполнена в микрополосковом виде. Методика эксперимента заключалась в следующем. Сначала исследовалась генерация на биполярном Si-Ge-транзисторе упрощенной конструкции в автономном режиме при одночастотной генерации для двух режимов работы. Затем от специально созданного для этой цели генератора в каждом из обоих случаев НЧШС 0,1–3 МГц подавался

на *p-n*-переход эмиттер-база, которая была заземлена.

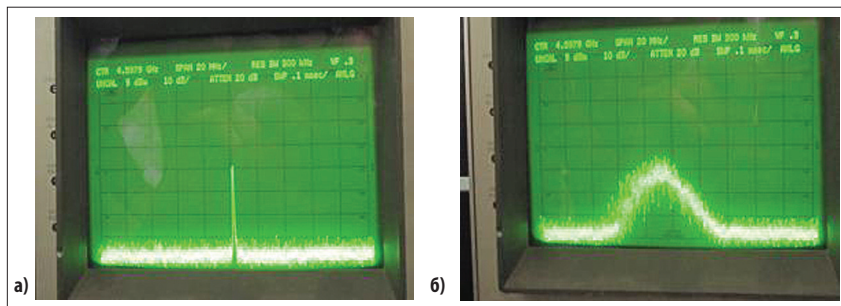
ЭКСПЕРИМЕНТЫ И ИХ РЕЗУЛЬТАТЫ [5]

В первую очередь экспериментально было установлено, что при постоянном напряжении эмиттера (база на «земле») $U_э = +2,2$ В при изменении напряжения коллектора $U_к = 0$ В частота генерации была $f = 4,122$ ГГц, при $U_к = 0,75$ В $f = 4,667$ ГГц, при $U_к = 1,35$ В $f = 4,867$ ГГц. При подключении внешнего шумового сигнала при $U_к = 0$ В «режим ушел», частота генерации сместилась вверх на 4,6 ГГц. Новый режим потребовал увеличения напряжения коллектора до $U_к = 0,28$ В. Напряжение эмиттера то же, $U_э = +2,2$ В, $f = 4,6$ ГГц. При увеличении напряжения коллектора частота генерации плавно смещается вверх. При изменении напряжения до $U_к = 4,4$ В частота изменяется плавно до $f = 4,7$ ГГц; при $U_к = 4,75$ В происходит перескок $f = 4,9$ ГГц.

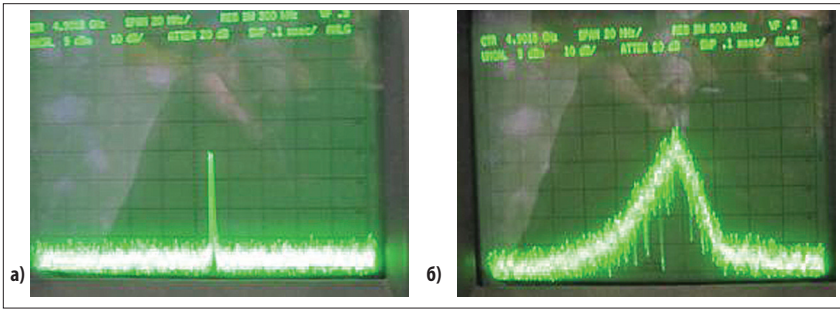
Как видно на рис. 1, при воздействии внешнего НЧШС генерация одночастотного СВЧ-сигнала превращается в генерацию узкополосного шумового сигнала с шириной спектра ~ 40 МГц

по уровню -3 дБ с максимумом на частоте $f_2^1 \approx 4,6$ ГГц и, судя по распределению яркости в осциллограмме спектра, с нормальным законом распределения. При увеличении напряжения коллектора при внешнем шумовом сигнале, действующем на входе эмиттера, центральная частота спектра шумовой генерации плавно смещается вверх, но на небольшую величину. При изменении напряжения до $U_к = 4,4$ В центральная частота спектра изменяется плавно до $f = 4,7$ ГГц и не изменяется вплоть до $U_к = 4,75$ В, при котором происходит перескок центральной частоты спектра шумового сигнала на частоту $f = 4,9$ ГГц. На рис. 2а–б представлены спектры генерации на частоте $f = 4,9$ ГГц при внешнем шумовом сигнале минимальной величины (0,01 В) и с максимальным внешним шумовым сигналом (0,1 В) соответственно.

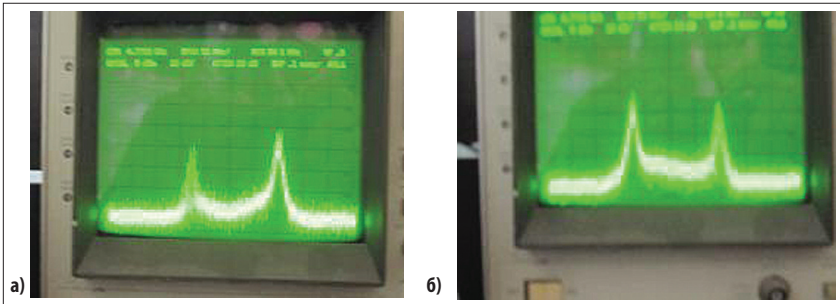
Как видно на рис. 2, при воздействии внешнего НЧ шумового сигнала генерация одночастотного СВЧ-сигнала превращается в генерацию узкополосного шумового сигнала, судя по распределению яркости в осциллограмме спектра, также с нормальным законом распределения. Ширина спектра по уровню -3 дБ



▲ Рис. 1. Частота $f = 4,6$ ГГц: а) без внешнего сигнала и б) с внешним максимальным 0,5-В сигналом



▲ **Рис. 2.** Представлены спектры генерации на частоте $f = 4,9$ ГГц: а) при внешнем шумовом сигнале минимальной величины 0,01 В; б) при максимальном внешнем шумовом сигнале 0,1 В



▲ **Рис. 3.** Изменение спектра ВЧ-сигнала от уровня воздействия: а) 0,05 В; б) 0,1 В

составляет ~ 30 МГц с максимумом на частоте $f = 4,9$ ГГц.

Затем без внешнего сигнала был найден режим двухчастотной генерации $f_1 \approx 4,7$ ГГц и $f_2 \approx 4,9$ ГГц при $U_k = 0,28$ В. Но данный режим существует в узкой области параметров. Поэтому при увеличении напряжения коллектора генерация на частоте $f_2 \approx 4,9$ ГГц срывается.

Перестройка напряжения коллектора вверх с включенным внешним НЧШС среднего уровня (0,05 В) приводит к тому, что при $U_k = 2,95$ В возбуждается вторая частота на $f_2 \approx 4,9$ ГГц и сразу вместе с ней возникает шумовый режим.

При этом нижняя частота в спектре $f_1 \approx 4,7$ ГГц, а верхняя — прежняя $f_2 \approx 4,9$ ГГц, вид спектра представлен на рис. 3а. Спектр после увеличения уровня воздействия НЧШС до максимальной (0,1 В) величины отображен на рис. 3б.

На рис. 3а–б можно видеть, что воздействие НЧШС приводит в СВЧ-диапазоне к перекрытию соседних резонансов на частотах f_1 и f_2 . Увеличение уровня воздействия НЧШС приводит к «перекачке» мощности СВЧ шумового сигнала из резонанса f_2 в резонанс на f_1 и некоторому выравниванию неравномерности спектра между

ними. Однако максимальной мощности НЧШС не хватает, чтобы «провал» между резонансными частотами в спектре СВЧ-сигнала отсутствовал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В эксперименте предложен и продемонстрирован новый способ перевода СВЧ-генератора на биполярном транзисторе в режим шумовой генерации. Переход в режим шумовой из одночастотной генерации происходит в результате воздействия низкочастотного шумового сигнала на цепь питания транзистора, даже вблизи пускового режима генерации. —

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев А. С., Ефремова Е. В., Максимов Н. А., Панас А. И. Генерация хаоса. МИР физики и техники. Под общ. ред. д. ф.-м. н. Дмитриева А. С. М.: Техносфера, 2012.
2. Котов В. Д., Мясин Е. А. Воздействие низкочастотного шумового сигнала на генератор одночастотных колебаний миллиметрового диапазона волн на лавинно-пролетном диоде//Письма в ЖТФ. 2017. Т. 43. Вып. 22.
3. Кальянов Э. В., Иванов В. П., Лебедев М. Н. Принудительная и взаимная синхронизация генераторов при наличии внешнего шума//Радиотехника и электроника. 1990. Т. 35. Вып. 8.
4. Максимов Н. А., Панас А. И. Твердотельная хаотическая автоколебательная система микроволнового диапазона упрощенной структуры//Письма в ЖТФ. 2017. Т. 43. Вып. 3.
5. Мясин Е. А., Максимов Н. А., Котов В. Д. Воздействие низкочастотного шумового сигнала на СВЧ-генератор детерминированных колебаний на Si-Ge-транзисторе//Известия вузов ПНД. 2018. Т. 26. № 3.