



УДК 621.373.9; 621.382.2.09.64

ВОЗДЕЙСТВИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ШУМОВОГО СИГНАЛА НА СВЧ-ГЕНЕРАТОР ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА Si-Ge ТРАНЗИСТОРЕ*

Е. А. Мясин, Н. А. Максимов, В. Д. Котов

ФГБУН Институт радиотехники и электроники
им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал
Россия, 141190 Фрязино Московской обл., пл. Введенского, д. 1
E-mail: eam168@ms.ire.rssi.ru, maksna49@mail.ru
Поступила в редакцию 13.04.2018

Цель данной работы – показать возможность хаотизации колебаний при воздействии низкочастотным (0.1...3.0 МГц) шумовым сигналом на цепь питания транзистора в одночастотном транзисторном генераторе. Предполагается подтвердить высказанное ранее предположение о том, что этот эффект, впервые обнаруженный нами в ЛПД-генераторе, может иметь место в любых генераторах с полупроводниковым активным элементом, имеющим хотя бы один $p-n$ -переход. **Метод.** Для решения этой задачи был создан транзисторный СВЧ-генератор Колпитца упрощённой структуры. В качестве активного элемента в нём использовался биполярный Si-Ge $n-p-n$ -транзистор. Тот же генератор низкочастотного шумового сигнала (0.1...3.0 МГц), что и в эксперименте с ЛПД-генератором, был использован для воздействия на его цепь питания. Вначале были исследованы режимы детерминированных колебаний СВЧ-генератора Колпитца (одночастотный и двухчастотный). Затем исследовано воздействие низкочастотного шумового сигнала на цепь питания его транзистора и проведено сравнение спектров СВЧ-генерации без воздействия шумового сигнала и с ним. Это сравнение впервые показало, что спектры детерминированных колебаний в СВЧ-генераторе Колпитца при воздействии низкочастотного шумового сигнала на цепь питания транзистора трансформируются в спектры шумовых колебаний. **Результат** эксперимента полностью подтвердил наше предположение. Поэтому такой способ хаотизации колебаний может быть использован для любых полупроводниковых генераторов с активным элементом, имеющим хотя бы один $p-n$ -переход, точнее, его нелинейную вольт-амперную характеристику.

Ключевые слова: СВЧ-генератор Колпитца, транзистор, воздействие, низкочастотный шумовой сигнал (0.01...3.0 МГц), хаотизация колебаний, ЛПД-генератор, $p-n$ -переход.

DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-3-?-?

Образец цитирования: Мясин Е.А., Максимов Н.А., Котов В.Д. Воздействие низкочастотного шумового сигнала на СВЧ-генератор детерминированных колебаний на Si-Ge транзисторе // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2018. Т. 26, № 3. С. ?-?. DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-3-?-?

*Статья написана по материалам докладов на XVII международной зимней школе-семинаре по радиофизике и электронике СВЧ. Россия, Саратов, 5–10.02.2018.

EFFECT OF LOW-FREQUENCY NOISE SIGNAL ON MICROWAVE OSCILLATOR OF DETERMINISTIC OSCILLATION AT Si-Ge TRANSISTOR

E. A. Myasin, N. A. Maksimov, V. D. Kotov

Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS, Fryazino branch
1, Vvedenskogo Square, 141190 Fryazino, Moscow Region, Russia
E-mail: eam168@ms.ire.rssi.ru, maksna49@mail.ru

Received 13.04.2018

Aim of this work – to show the possibility of oscillation chaotization at the effect of low-frequency (0.1...3.0 MHz) noise signal both on feed circuit of IMPATT diode in one-frequency IMPATT diode oscillator (IMPATT-DO) and on feed circuit of transistor in one-frequency transistor oscillator. It supposed to confirm the assumption, said early, that this effect, found by us in first time for one-frequency IMPATT-DO, can take place for any semiconductor oscillators with p - n -transition, more exactly, it's nonlinear current-voltage characteristic. **Method.** The microwave Colpitts oscillator with a simplified structure was created for decision of this problem. The Si-Ge p - n - p -transistor was used in the oscillator as an active element. The same (0.1...3.0 MHz) noise signal oscillator was used for the effect on it's feed circuit as in experiment with IMPATT-DO.

The deterministic oscillation regimes (one-frequency and two-frequencies) of the microwave Colpitts oscillator were investigated. Subsequently the low-frequency noise signal effect on the feed circuit of transistor was investigated and the spectra comparison of the microwave generation was leaded without an effect and with it. This comparison has shown in first time the deterministic oscillation spectra has transformed to chaotic oscillation spectra in microwave Colpitts oscillator at the low-frequency noise signal effect on the transistor feed circuit. **Result** has full confirmed our assumption. Therefore this effect can take place for any semiconductor oscillators with an active element, which has p - n -transition, more exactly, it's nonlinear current-voltage characteristic.

Key words: microwave Colpitts oscillator, effect, low-frequency (0.1...3.0 MHz) noise signal, oscillation chaotization, IMPATT diode oscillator, p - n -transition.

DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-3-?-?

References: Myasin E.A., Maksimov N.A., Kotov V.D. Effect of low-frequency noise signal on microwave oscillator of deterministic oscillation at Si-Ge transistor. *Izvestiya VUZ, Applied Nonlinear Dynamics*, 2018, vol. 26, iss. 3, pp. ?-?. DOI: 10.18500/0869-6632-2018-26-3-?-?

Введение

Впервые возможность генерации хаотических колебаний с широким спектром мощности в СВЧ-диапазоне за счёт нелинейного взаимодействия многих собственных частот многорезонансной автоколебательной системы была показана в автогенераторе из двух ЛБВ, замкнутых в кольцо, в котором одна из ламп выполняла функцию нелинейного элемента, вторая – усилителя мощности [1, 2]. В 2017 году исполнилось 50 лет этому событию. Оно послужило отправной точкой для развития нового направления не только в электронике и радиофизике, но и в других областях физики и получило общее название нелинейной хаотической динамики автоколебательных систем. К настоящему времени исследовано множество самых разнообразных систем, демонстрирующих хаотическую динамику [3]. Так, с развитием твердотельной СВЧ-электроники оказалось возможным создавать в микроволновом диапазоне системы даже с большей шириной спектра, чем в ЛБВ [4–6], с использованием, например, транзисторов. Однако в миллиметровом диапазоне, который транзисторы

только начинают осваивать, в твердотельных генераторах приходится использовать лавинно-пролётные диоды (ЛПД) и диоды Ганна, а для реализации в них режима хаотических колебаний, например в генераторах на основе ЛПД (ГЛПД), использовать волноводно-коаксиальные камеры [7, 8], несколько изменив их конструкцию [9, 10]. В настоящее время генераторы шума микроволнового и миллиметрового диапазона, использующие хаотическую динамику активных автоколебательных систем, востребованы для самых разнообразных областей науки и техники. Исследовались и другие методы для получения режимов хаотизации колебаний в ГЛПД.

1. Хаотизация колебаний в ГЛПД при внешнем воздействии

В работе [11] была показана возможность превращения генератора одночастотных колебаний на лавинно-пролётном диоде 7-миллиметрового диапазона волн в генератор шумовых колебаний при воздействии внешнего узкополосного низкочастотного (0.01...3.0 МГц) шумового сигнала на цепь питания ЛПД. Что касается исследования этого вопроса в зарубежной литературе, то, как показал проведенный в работе [11] поиск, в открытом доступе аналогов обнаружено не было. В контексте объяснения этого эффекта в [11] можно утверждать, что этот эффект должен «работать» для всех генераторов с активным элементом, содержащим $p-n$ -переход. Имеются в виду транзисторы (биполярные, полевые, МОП-транзисторы), ЛПД, ИПД, туннельные диоды и т.д. Но, прежде всего, этот эффект важен для транзисторных генераторов.

Действительно, в ГЛПД этот эффект был связан с возможностью добавления небольшого шумового напряжения (0.1...0.5 В) к постоянному напряжению, определяющему рабочую точку на вольт-амперной характеристике (ВАХ) обратносмещённого $p-n$ -перехода ЛПД. Суть этого воздействия заключается в том, что оно обеспечивает существенный разброс числа носителей тока в пролётном пространстве диода, необходимого для генерации только на одной частоте, обеспечивая генерацию на соседних частотах в пределах полосы частот, определяемых добротностью электродинамической системы генератора. Эта ситуация вполне аналогична по существу разбросу носителей тока по скоростям, что обеспечивает разрушение сгустка электронов, сгруппированного автоколебательной системой одночастотного сигнала в генераторах с приборами, использующими электронные потоки. Особенно наглядно результат этого процесса, впервые наблюдавшегося вблизи пускового тока ЛПД-генератора 7-миллиметрового диапазона волн при увеличении уровня воздействия узкополосного НЧ шумового сигнала [11], показывает изменение характера спектра высокочастотного (ВЧ) сигнала, представленное на рис. 1.

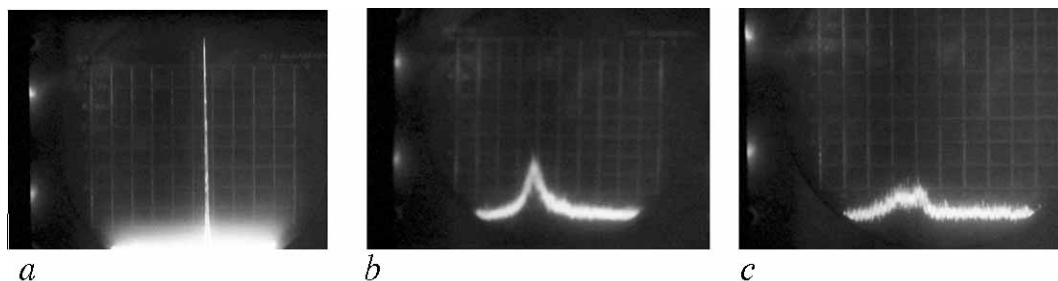


Рис. 1. Изменение спектра ВЧ-сигнала от уровня воздействия, V: 0 (a), 0.02 (b), 0.1 (c)

Fig. 1. Transformation of the HF signal spectra from the influence level, V: 0 (a), 0.02 (b), 0.1 (c)

Поэтому можно утверждать, что этот эффект должен «работать» и на прямой ветви ВАХ, то есть для всех генераторов с активным элементом, содержащим $p-n$ -переход.

2. Поиск известных публикаций по этому вопросу

Для проверки этого утверждения было проведено исследование публикаций в зарубежной литературе. Однако, как показал поиск аналогичных публикаций в поисковой системе Google, подобные работы в открытом доступе за рубежом отсутствуют. Теоретические работы, как и экспериментальные, в основном, относятся к трансформации собственных НЧ-шумов транзисторов в частотные ВЧ-шумы генераторов, например, на полевых транзисторах [12], или введению внешнего сигнала на вход такого генератора для стабилизации одночастотной генерации [13].

То, что высказанное ранее утверждение справедливо, подтверждают исследования воздействия узкополосного НЧШ-генератора (0.01...6.0 МГц) на систему связанных СВЧ-генераторов [14], показавшие возможность разрушения синхронных колебаний в этой системе при таком воздействии. В эксперименте, который был поставлен для проверки развитой теоретической модели, использовались биполярные транзисторы. В результате предсказанное в теории разрушение режима синхронных колебаний внешним НЧ-шумом было проиллюстрировано соответствующими спектрограммами превращения многочастотного спектра в непрерывный спектр, перекрывающий всю занятую им полосу частот. Однако никаких выводов относительно физических процессов в транзисторе, приводящих к такому результату, не было сделано. Была констатация факта, подтверждающая результат теоретического исследования.

Но при этом было зафиксировано, что «частотный диапазон воздействующего шума занимает полосу частот порядка 0.6% от частоты f сигнала автономной генерации и мощность его составляет $0.07P$ от мощности P автономной генерации». Таким образом, этот факт также подтверждает правомерность высказанного ранее утверждения относительно генераторов с полупроводниковыми приборами, имеющими $p-n$ -переход, в частности, для биполярных транзисторов. Позднее результаты этого теоретического исследования были использованы в работе [15] при создании широкополосного генератора шума для маскировки излучения персональных компьютеров.

3. Хаотизация детерминированных колебаний в генераторе на Si-Ge транзисторе

В данной работе эффект хаотизации детерминированных колебаний продемонстрирован на примере воздействия узкополосного НЧШ-сигнала на упрощенную схему генератора Колпитца [6] на сосредоточенных элементах, в котором использовался Si-Ge $n-p-n$ -транзистор. Как и во всех генераторах, в которых мог быть реализован режим генерации хаотических колебаний, в генераторе работы [6] ему предшествовал режим одночастотных колебаний.

Для проведения эксперимента по воздействию узкополосного НЧШ-сигнала на цепь питания транзистора был создан генератор НЧШ-сигнала, спектр которого

занимал полосу частот от нескольких килогерц до 3 MHz по уровню -3 dB и около 10 MHz по уровню -10 dB. Исследованы реализации процесса с выхода этого генератора с помощью осциллографа С1-75. Было установлено, что плотность распределения вероятности амплитуды напряжения U подчиняется Гауссову (нормальному) закону с нулевым средним. Отклонение σ определялось по засветке экрана и служило оценкой амплитуды НЧШ-сигнала.

Для наблюдения спектра СВЧ-сигнала использовался анализатор спектра Hewlett Packard 8569 с диапазоном измерения частоты от 0.01 до 22 GHz.

Сначала экспериментально было установлено, что в автономном режиме генерации при постоянном напряжении эмиттера $U_3 = -2.2$ V (база заземлена) при изменении напряжения коллектора от 0 до 1.35 V частота одночастотной генерации изменяется следующим образом: при $U_k = 0$ частота была $f_1 = 4.122$ GHz, при $U_k = +0.75$ V частота $f_2 = 4.667$ GHz и при $U_k = +1.35$ V частота $f_3 = 4.867$ GHz. Изменения частоты происходили скачкообразно.

При подключении внешнего шумового сигнала минимальной величины к питанию эмиттера при $U_k = 0$ частота генерации скачком сместилась вверх на частоту 4.667 GHz. Это означает, что в результате воздействия изменились (улучшились) условия для возбуждения более высокой частоты по сравнению с автономным режимом генерации, так как «сместилась» часть распределения носителей в сторону оптимальной величины для её возбуждения.

Новый режим потребовал увеличения напряжения коллектора до $U_k = 0.28$ V, но напряжение эмиттера осталось тем же $U_3 = -2.2$ V, $f_2 = 4.5979 \approx 4.6$ GHz.

На рис. 2, *a*, *b* представлена генерация на частоте $f = 4.6$ GHz без внешнего сигнала и с максимальным (0.1 V) внешним шумовым сигналом, соответственно.

Как видно из рисунка, при воздействии внешнего НЧ шумового сигнала генерация одночастотного СВЧ-сигнала превращается в генерацию узкополосного шумового сигнала с шириной спектра порядка 60 MHz по уровню -15 dB с максимумом на частоте $f = 4.6$ GHz и, судя по распределению яркости в спектре, с нормальным законом распределения.

При увеличении напряжения коллектора частота одночастотной генерации плавно смещается вверх. При изменении напряжения до $U_k = 4.4$ V частота изменяет-

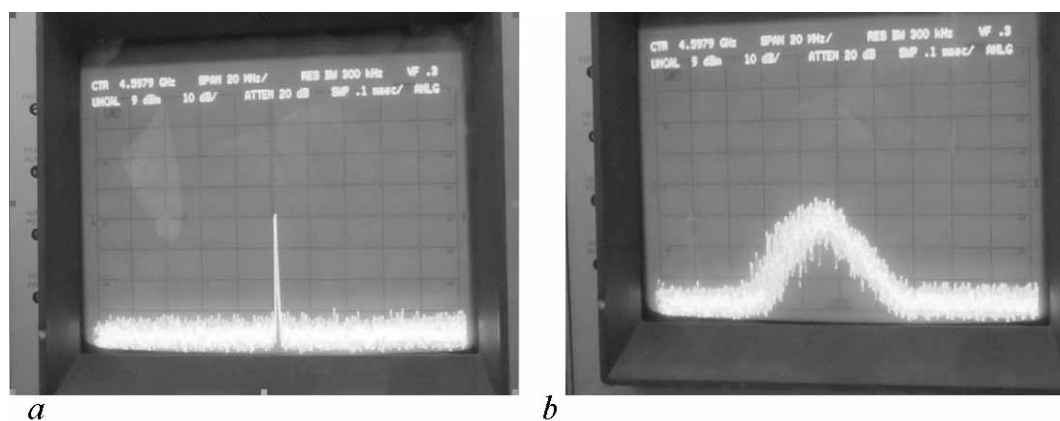


Рис. 2. Изменение спектра ВЧ-сигнала от уровня воздействия, V: 0 (*a*), 0.1 (*b*); $U_k = 0.28$ V
 Fig. 2. Transformation of the HF signal spectra from the influence level, V: 0 (*a*), 0.1 (*b*); $U_k = 0.28$ V

ся плавно до $f = 4.7$ GHz; при $U_k = 4.75$ V происходит «перескок» на частоту $f = 4.9$ GHz. На рис. 3, *a*, *b* представлена генерация на частоте $f = 4.9$ GHz без внешнего сигнала и с максимальным (0.1 V) внешним шумовым сигналом, соответственно. Как видно из рисунка, при воздействии внешнего НЧ шумового сигнала генерация одночастотного СВЧ-сигнала превращается в генерацию узкополосного шумового сигнала с шириной спектра порядка 30 MHz по уровню -15 dB с максимумом на частоте $f = 4.9$ GHz и, судя по распределению яркости в спектре, с нормальным законом распределения.

Затем без внешнего сигнала был найден режим двухчастотной генерации $f_1 \approx 4.7$ и $f_2 \approx 4.9$ GHz при $U_k = 0.28$ V. Но этот режим существует в узкой области параметров. Поэтому при увеличении напряжения коллектора генерация на частоте $f_2 \approx 4.9$ GHz срывается.

Перестройка напряжения коллектора вверх с включённым внешним НЧ шумовым сигналом среднего уровня (0.05 V) приводит к тому, что при $U_k = 4.4$ V возбуждается вторая частота на $f_2 \approx 4.9$ GHz и сразу вместе с ней возникает шумовой режим. При этом нижняя частота в спектре $f_1 \approx 4.7$ GHz, а верхняя – прежняя $f_2 \approx 4.9$ GHz, и вид спектра представлен на рис. 4, *a*. Спектр после увеличения

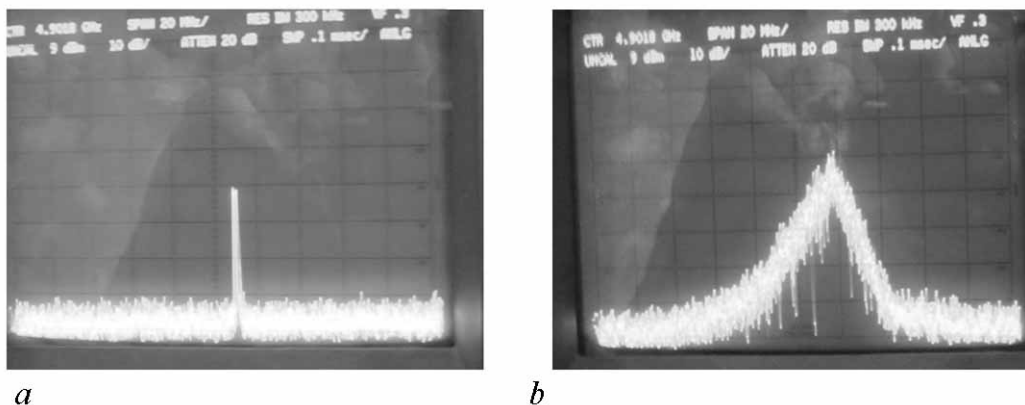


Рис. 3. Изменение спектра ВЧ-сигнала от уровня воздействия, V: 0 (*a*), 0.1 (*b*); $U_k = 4.4$ V
 Fig. 3. Transformation of the HF signal spectra from the influence level, V: 0 (*a*), 0.1 (*b*); $U_k = 4.4$ V

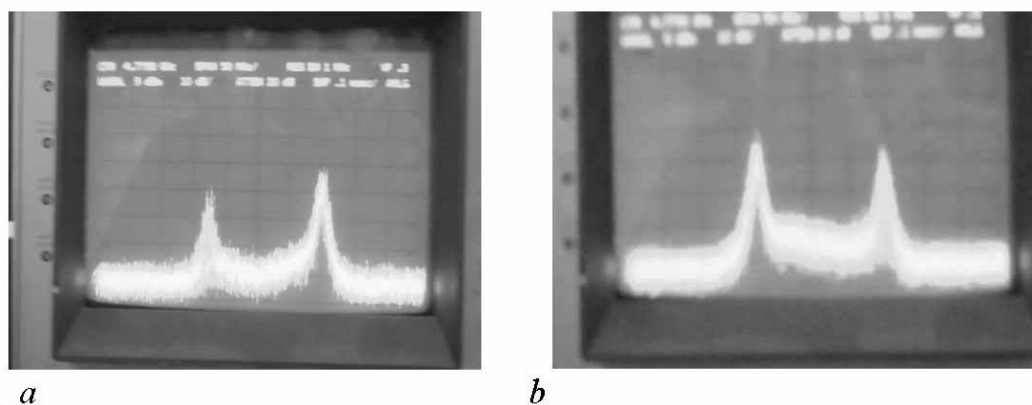


Рис. 4. Изменение спектра ВЧ-сигнала от уровня воздействия, V: 0.05 (*a*), 0.1 (*b*); $U_k = 4.4$ V
 Fig. 4. Transformation of the HF signal spectra from influence level, V: 0.05 (*a*), 0.1 (*b*); $U_k = 4.4$ V

уровня воздействия НЧ шумового сигнала до максимальной (0.1 V) величины представлен на рис. 4, *b*.

Как видно из рис. 4, *a*, *b*, воздействие НЧ шумового сигнала приводит в СВЧ-диапазоне к перекрытию соседних резонансов на частотах f_1 и f_2 . Увеличение уровня воздействия 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 НЧ шумового сигнала не хватает, чтобы «провал» между резонансными частотами в спектре СВЧ-сигнала отсутствовал.

Заключение

Таким образом, предложен и продемонстрирован новый способ перевода режима генерации детерминированных колебаний транзисторного СВЧ-генератора в режим шумовой генерации, причём при слабой нелинейности её активного полупроводникового элемента. При этом, если условия генерации выполнены только для генерации одной частоты, то даже при максимальном уровне воздействующего НЧ шумового сигнала ширина спектра полученного шумового сигнала ограничена узкой полосой, определяемой добротностью автоколебательной системы на этой частоте. В случае возбуждения в генераторе двух соседних частот, того же максимального уровня воздействия НЧ шумового сигнала достаточно для одновременной хаотизации колебаний обеих частот с перекрытием их «индивидуальных» спектров шума. Однако для полного перекрытия этих спектров уровень внешнего НЧ шумового сигнала должен быть больше, чем 0.1 V.

Библиографический список

1. Мясин Е.А., Кислов В.Я., Богданов Э.В. Способ генерирования электромагнитных шумовых колебаний. А.С. №1125735, опубл. 23.11.1984. БЛ №43 с приоритетом от 22.06.1967 г.
2. Кислов В.Я. Теоретический анализ шумоподобных колебаний в электронно-волновых системах и автогенераторах с запаздыванием и сильной нелинейностью // РЭ. 1980. Т. 25, №8. С. 1683.
3. Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Максимов Н.А., Панас А.И. Генерация хаоса / Под общей редакцией д.ф.-м.н. А.С. Дмитриева. Сер. «МИР физики и техники». М.: Техносфера, 2012. 424 с.
4. Tamasevicius A., Bumeliene S., Lindberg E. Improved chaotic Colpitts oscillator for ultrahigh frequencies // Electron. Lett. 2004. Vol. 40. P. 1569–1570.
5. Li J.X., Wang Y.C., Ma F.C. Experimental demonstration of 1.5 GHz chaos generation using an improved Colpitts oscillator // Nonlinear Dyn. 2013. Vol. 72. P. 575–580.
6. Максимов Н.А., Панас А.И. Твердотельная хаотическая автоколебательная система микроволнового диапазона упрощённой структуры // Письма в ЖТФ. 2017. Т. 43, вып. 3. С. 88–94.
7. Misawa T., Kenyon N.D. An oscillator circuit with cap structure for millimeter wave IMPATT diodes // IEEE Trans. MTT. 1970. MTT-18. P. 969.

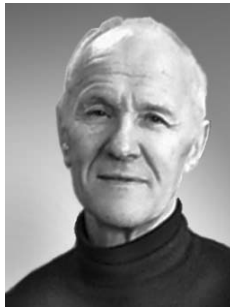
8. *Kenyon N.D.* A circuit design for mm-wave IMPATT oscillators // *IEEE GMTT International Microwave Symposium Digest*. 1970. P. 300–303.
9. *Мясин Е.А., Котов В.Д.* Широкополосные диодные генераторы шума миллиметрового диапазона волн // *Радиотехника*. 2005. № 3. С. 46–50.
10. *Мясин Е.А., Котов В.Д.* Генератор СВЧ шумовых колебаний. Патент № 2614925 РФ, по Заявке № 2015154277 от 17.12. 2015. Опубл. 30.03.2017. Бюл. № 10.
11. *Котов В.Д., Мясин Е.А.* Воздействие низкочастотного шумового сигнала на генератор одночастотных колебаний миллиметрового диапазона волн на лавинно-пролётном диоде // *Письма в ЖТФ*. 2017. Т. 43, вып. 22. С. 68–74.
12. *Verdier J., Liopis O., Plana R., Graffeuil J.* Analysis of noise up-conversion in microwave field-effect transistor oscillators // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. August 1996. Vol. 44. no. 8. P. 1478–1483.
13. *Hiroshi Okamoto, Mutsuo Ikeda.* Injection-locked ultra-high frequency solid-state oscillator. Patent US 4099144 A. 26.04.1976. Publication date 04.07.1978.
14. *Кальянов Э.В., Иванов В.П., Лебедев М.Н.* Принудительная и взаимная синхронизация генераторов при наличии внешнего шума // *РЭ*. 1990. Т. 35, вып. 8. С. 1682–1687.
15. *Лебедев М.Н., Иванов В.П.* Генераторы с хаотической динамикой // *Приборы и техника эксперимента*. 2002. № 2. С. 94–99.

References

1. Myasin E.A., Kislov V.Ya., Bogdanov E.V. Method of the electromagnetic noise oscillation generation. USSA Inventor's Certificate no.1125735, publ. 23.11.84, *Invention Byull.* no. 43, priority at 22.06.1967 (in Russian).
2. Kislov V.Ya. *Radio Engineering and Electronics*, 1980, vol. 25, no. 8, p. 1683 (in Russian).
3. Dmitriev A.S., Efremova E.V., Maksimov N.A., Panas A.I. Generation of Chaos. Moscow: Tekhnosfera, 2012, 424 p. (in Russian).
4. Tamasevicius A., Bumeliene S., Lindberg E. Improved chaotic Colpitts oscillator for ultrahigh frequencies. *Electron. Lett.*, 2004, vol. 40, pp. 1569–1570.
5. Li J.X., Wang Y.C., Ma F.C. Experimental demonstration of 1.5 GHz chaos generation using an improved Colpitts oscillator. *Nonlinear Dyn.*, 2013, vol. 72, pp. 575–580.
6. Maksimov N.A., Panas A.I. A solid-state microwave-range self-oscillating chaotic system with a simplified structure. *Technical Physics Letters*, 2017, vol. 43, no. 2, pp. 180–182.
7. Misawa T., Kenyon N.D. An oscillator circuit with cap structure for millimeter wave IMPATT diodes. *IEEE Trans. MTT*, 1970, MTT-18, p. 969.
8. Kenyon N.D. A circuit design for mm-wave IMPATT oscillators. *IEEE GMTT International Microwave Symposium Digest*, 1970, pp. 300–303.
9. Myasin E.A., Kotov V.D. *Radio Engineering*, 2005, no. 3, pp. 46–50.

10. Myasin E.A., Kotov V.D. Oscillator of a Microwave Noise Oscillations. Patent RF no. 2614925, priority on invention application no. 2015154277 at 17.12.2015. Publ. 30.03.2017. Bull. no. 10.
11. Kotov V.D., Myasin E.A. The effect of a low-frequency noise signal on a single-frequency millimeter-band oscillator based on an avalanche-transit diode. *Technical Physics Letters*, 2017, vol. 43, no.11, pp. 1030–1032.
12. Verdier J., Liopis O., Plana R., Graffeuil J. Analysis of noise up-conversion in microwave field-effect transistor oscillators. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, August 1996, vol. 44, no. 8, pp. 1478–1483.
13. Hiroshi Okamoto, Mutsuo Ikeda. Injection-locked ultra-high frequency solid-state oscillator. Patent US 4099144 A. 26.04.1976. Publication date 04.07.1978.
14. Kalyanov E.V., Ivanov V.P., Lebedev M.H. *Radio Engineering and Electronics*, 1990, vol. 35, no. 8, pp. 1682–1687 (in Russian).
15. Lebedev M.H., Ivanov V.P. Chaotic Oscillators. *Instruments and Experimental Techniques*, 2002, vol. 45, no. 2, pp. 231–236.

Мясин Евгений Анатольевич – родился в Новосибирске (23.01.1938), окончил Московский инженерно-физический институт (МИФИ, 1961). С 1962 года работает в ИРЭ АН СССР сначала в должности младшего научного сотрудника. В 1966 году экспериментально установил связь между возникновением генерации шума и нелинейным режимом ЛБВ в автогенераторе с задержанной обратной связью из двух ЛБВ, замкнутых в кольцо. Соавтор А.С. N1125735 на Способ генерирования электромагнитных шумовых колебаний и устройство генератора шума (Шумотрон, 1967) Защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук (ИРЭ, 1970) в области радиофизики и СВЧ-электроники. С 1977 года – старший научный сотрудник. Лауреат Государственной премии СССР (1980). С 1981 года по настоящее время – заведующий лабораторией генерации хаотических и монохроматических электромагнитных колебаний миллиметрового диапазона в полупроводниковых и электровакуумных генераторах в ФИРЭ АН СССР, – теперь Фрязинского филиала ИРЭ им.В.А. Котельникова РАН. Опубликовал 1 главу в коллективной монографии, (в том числе в соавторстве) 115 статей, 79 докладов на Российских и Международных конференциях по направлениям, указанным выше. Имеет 18 Авторских свидетельств СССР и Патентов РФ.



141190 РФ, Московская обл., г. Фрязино, площадь им. Введенского д. 1
 ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН
 E-mail: eam168@ms.ire.rssi.ru

Максимов Николай Андреевич – родился в Глухове, Сумской обл.(1949). Окончил физический факультет МГУ им. Ломоносова (1973). Два года отслужил в армии. С 1975 года по настоящее время работает в ФИРЭ им. Котельникова РАН. Должность – ведущий научный сотрудник. Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (1989) в области радиофизики и электроники. Автор 35 статей в реферируемых журналах. Автор монографии «Генерация хаоса» (в соавторстве с Дмитриевым А.С., Панасом А.И., Ефремовой Е.В.). Лауреат премии Совета министров СССР.



141190 РФ, Московская обл., г. Фрязино, площадь им. Введенского д. 1
 ФИРЭ им. В.А.Котельникова РАН
 E-mail: maksna49@mail.ru

Котов Виктор Дмитриевич – родился в Щёлкове Московской области (1947). Окончил ВТУЗ Московского Ордена Ленина энергетического института по специальности конструирование и производство радиоаппаратуры (1971). С 1972 года работает в ИРЭ АН СССР (теперь Фрязинский филиал ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН) в должности инженера, затем старшего инженера и занимается разработкой, созданием и исследованием работы макетов мощного оротрона сантиметрового диапазона. В 1978 году стал соавтором основополагающей статьи по исследованию возможности получения в оротроне высокого КПД. С 1984 года согласился принять участие в разработке, создании и исследовании широкополосного генератора шума (ГШ) на лавинно-пролётном диоде (ГШЛПД) 8-миллиметрового диапазона волн. В начале 1985 года впервые в СССР такой генератор с шириной спектра более 1000 МГц был создан для использования в шумовом радиолокаторе. Затем, через год (1986) был создан генератор в 3-миллиметровом диапазоне волн с шириной полосы около 3000 МГц. Созданные макеты ГШ использовались для различных применений и передавались в режиме know-how в другие организации. Работы велись по закрытому плану. Тем не менее о передатчике с дискретным изменением уровня выходной мощности, созданном В.Д. Котовым на основе разработанных ГШ, был сделан доклад на Международной конференции в США. Полностью опубликовать полученные результаты стало возможным только в 2005 году, а Патент РФ получен на эту конструкцию ГШ в 2017 году с приоритетом от 2015 г. В 1990-е годы узкополосные ГШЛПД были использованы для КВЧ-терапии в рамках работ ООО «Шлем» и помогли сохранить эту тематику в лаборатории. В настоящее время проводит исследования по генерации хаотических колебаний не только в ГШЛПД, но и в ГШ на транзисторах. В.Д. Котов является высококвалифицированным специалистом в радиотехнике и СВЧ-электронике. Участник публикации 40 статей, 20 докладов на Российских и Международных конференциях, 2 авторских свидетельств СССР и 3 патентов РФ.



141190 Московская обл., Фрязино, площадь им. Введенского д. 1
Фрязинский филиал ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН