

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нелинейной физики

**Генерация широкополосных хаотических СВЧ-сигналов и управление
ими в ЛБВ автогенераторе**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 215 группы

направления 03.04.01 «Прикладные математика и физика»

факультета нелинейных процессов

Жидкова Артёма Павловича

Научный руководитель,

профессор, д.ф.-м.н.

Дмитриев Б.С.

Зав. кафедрой,

д.ф.-м.н., профессор

Рыскин Н.М.

Саратов 2016 год

ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время интересным направлением для изучения в современной радиофизике и электронике является исследование динамических систем различной природы, демонстрирующих сложную динамику и хаос. В теоретических и экспериментальных работах показано, что динамический хаос и сложная динамика могут быть использованы в самых различных областях науки и техники, в частности, вызывает интерес применение подобных источников для современных систем передачи и обработки информации с использованием динамического хаоса. Основная причина такого интереса заключается в совокупности свойств динамического хаоса, таких как простота получения, широкая полоса частот, обеспечивающая высокую помехоустойчивость, потенциально высокие скорости передачи, лёгкая управляемость характеристик [1 - 3].

До настоящего времени исследования систем связи, основанных на хаосе, в основном базировались на полупроводниковых приборах [4]. Однако низкая мощность и чувствительность к внешним условиям этих приборов в ряде задач, безусловно, являются их недостатком. С этой точки зрения вакуумные СВЧ приборы являются привлекательными из-за своей способности генерировать излучение высокой мощности и устойчивости к радиационному воздействию.

Для указанных приложений весьма перспективными являются СВЧ автогенераторы с запаздывающей обратной связью на основе многорезонаторных клистронов и ЛБВ [5,6], которые обеспечивают достаточно широкий спектр частот при высокой мощности. Однако следует отметить недостаток экспериментальных исследований сложной динамики таких генераторов.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований широкополосного генератора хаотических колебаний с ЗОС на

основе лампы с бегущей волной, управления этими колебаниями и реализации СВЧ генератора широкополосных хаотических радиоимпульсов. Можно отметить, что в настоящее время для применения хаотических колебаний в широкополосных средствах связи и радиолокации во многих странах введены стандарты IEEE по использованию соответствующих частот, в соответствии с которыми наибольшее внимание исследователей и разработчиков уделяется диапазону частот от 3 до 8 ГГц [7]. Именно в этом диапазоне и проведены результаты данной работы.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые экспериментально продемонстрирована возможность эффекта подавления широкополосного хаотического сигнала ЛБВ автогенератора внешним воздействием, а также представлена реализация широкополосных хаотических радиоимпульсов различной длительностью за счёт внешней модуляции.

Научная значимость работы обусловлена тем, что экспериментальные исследования эффекта подавления широкополосного хаотического сигнала ЛБВ автогенератора и реализация широкополосных хаотических радиоимпульсов даёт возможность в передаче информации с помощью прямохаотических систем связи (ПХСС) [3].

Работа состоит из введения, двух глав, заключения и списка литературы, всего 31 страница. В главе 1 описывается схема ЛБВ автогенератора, основные характеристики которого экспериментально исследованы и соотнесены с теоретическими расчётами. В главе 2 экспериментально исследуется эффект подавления хаотического режима ЛБВ автогенератора внешним гармоническим воздействием. На основе этого эффекта продемонстрирована возможность генерации широкополосных радиоимпульсов в ЛБВ автогенераторе.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 описана универсальная схема для исследования ЛБВ автогенератора, а также представлены экспериментальные расчёты амплитудной характеристики, дисперсионной кривой и полного времени задержки сигнала (п. 1.1). В п. 1.2 исследуются характерные режимы ЛБВ автогенератора и их особенности. На Рис. 1 – Рис. 4 представлены спектры колебаний и фазовые портреты основных режимов (одночастотный, автомодуляция, переход от автомодуляция к хаосу, хаотический). Также были исследованы кольцевые моды [9], для которых был экспериментально получен частотный интервал между двумя соседними модами. Благодаря анализатору спектра, позволяющему наблюдать широкий диапазон частот до 10 ГГц, было продемонстрировано наличие трёх гармоник вблизи точки насыщения, характерные для генераторов на основе ЛБВ [10], и исследованы их соотношения.

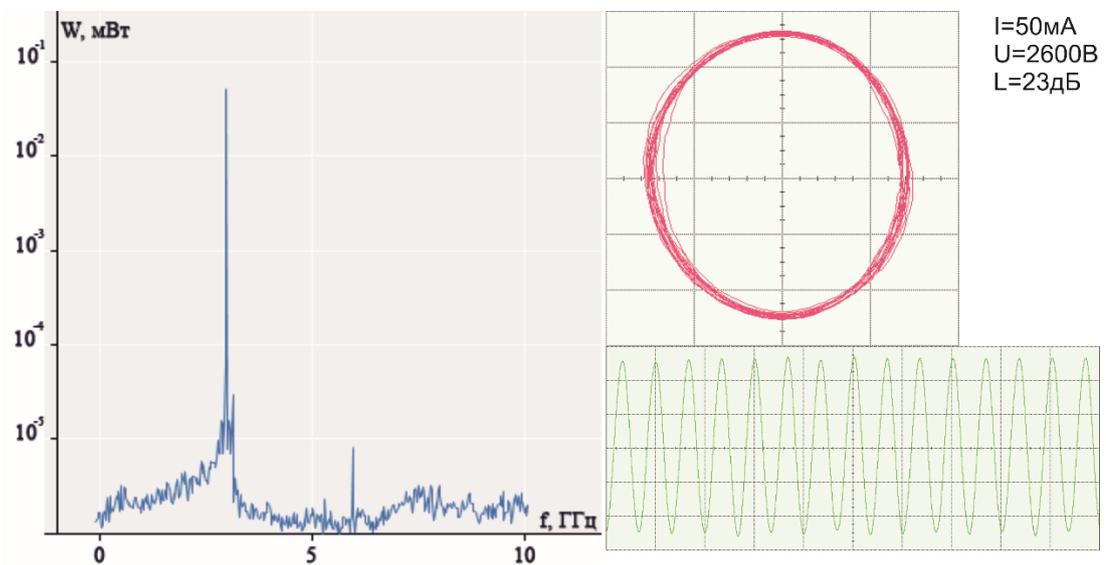


Рис. 1. Спектр колебаний и фазовый портрет режима периодических колебаний ЛБВ автогенератора с ЗОС при параметрах $I = 50 \text{ мА}$, $U = 2600 \text{ В}$, $L = 23 \text{ дБ}$

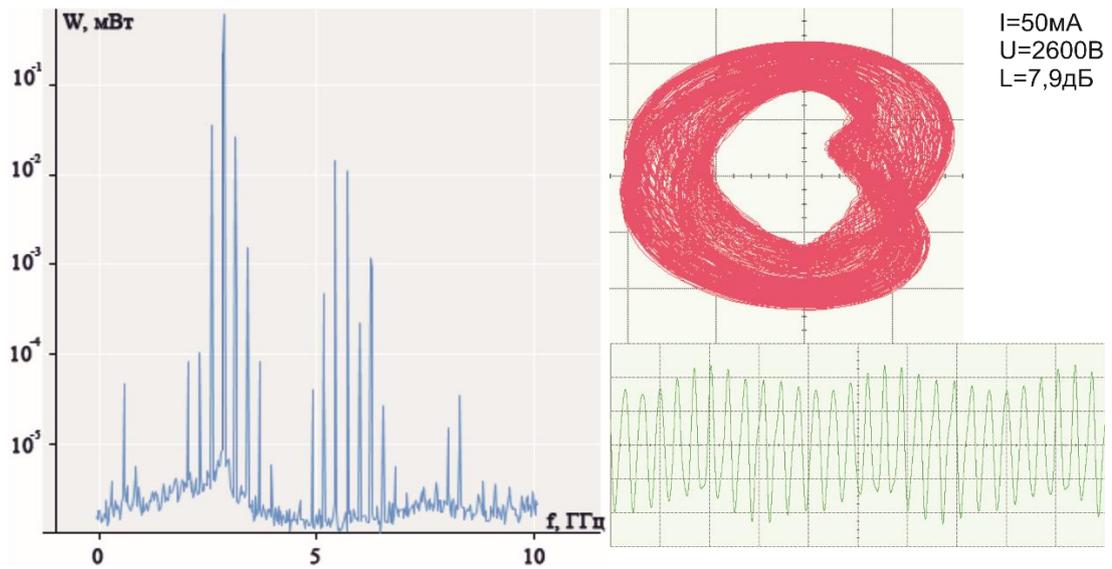


Рис. 2. Спектр колебаний и фазовый портрет режима автомодуляции ЛБВ автогенератора с ЗОС при параметрах $I = 50 \text{ мА}$, $U = 2600 \text{ В}$, $L = 7,9 \text{ дБ}$

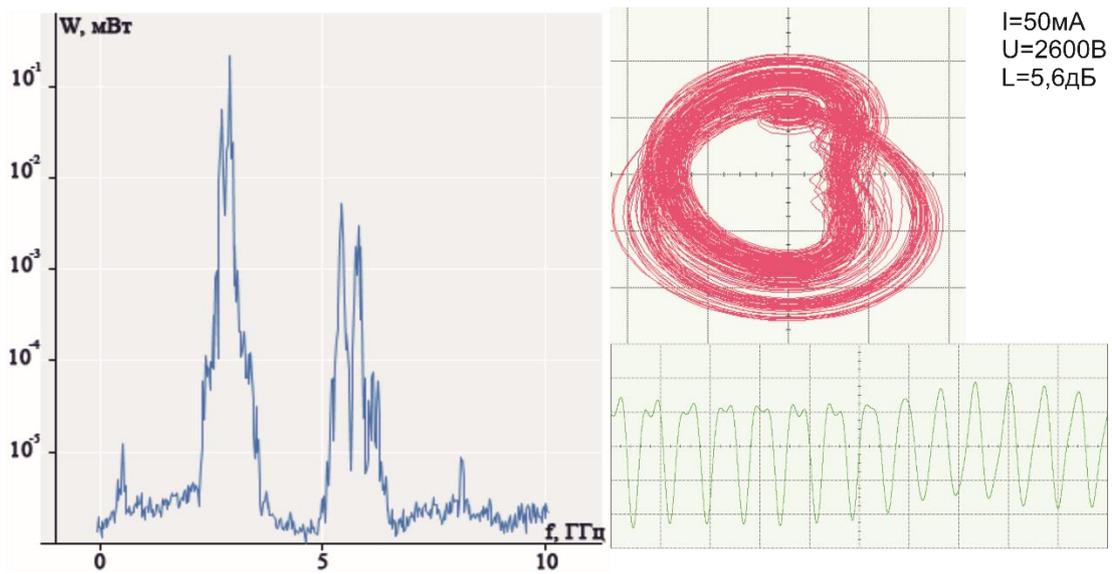


Рис. 3. Спектр колебаний и фазовый портрет режима перехода от автомодуляции к хаосу при параметрах $I = 50 \text{ мА}$, $U = 2600 \text{ В}$, $L = 5,6 \text{ дБ}$

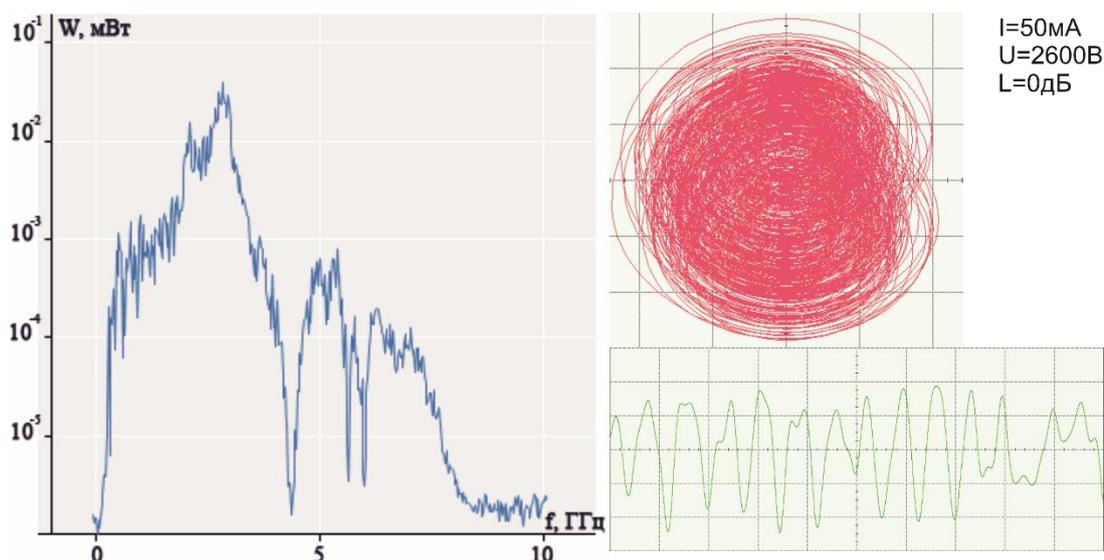


Рис. 4. Спектр колебаний и фазовый портрет хаотического режима ЛБВ автогенератора с ЗОС при параметрах $I = 50 \text{ мА}$, $U = 2600 \text{ В}$, $L = 0 \text{ дБ}$

В главе 2 экспериментально был исследован эффект подавления широкополосного хаотического сигнала ЛБВ автогенератора внешним воздействием (п. 2.1). Этот эффект заключается в том, что при воздействии внешнего гармонического сигнала определенной частоты на развитый хаос автогенератора наблюдается полное подавление собственных хаотических колебаний и установление генерации периодических колебаний, совпадающих по частоте с частотой вынуждающего сигнала. В ходе экспериментальных исследований осуществлялся хаотический режим ЛБВ автогенератора при значении напряжения $U=2740\text{В}$ и токе $I=56 \text{ мА}$ был получен относительно устойчивый хаотический сигнал, интегральная мощность которого составляет $1,35 \text{ Вт}$ (Рис. 1). Подавая на хаос на частоте первой гармоники ($2,94 \text{ ГГц}$) внешний гармонический сигнал мощностью 10 мВт , который усиливается примерно до 200 мВт с помощью транзисторного усилителя, происходит полное подавление хаотического режима (Рис. 6). Также была продемонстрирована возможность эффекта подавления хаоса второй гармоникой основного сигнала. В ходе экспериментальных исследований устанавливался ток пучка ЛБВ автогенератора 18 мА , был получен «квазихаотический» сигнал с интегральной мощностью $0,26 \text{ Вт}$. В качестве «квазихаотического» сигнала подразумевается режим, который

представляет собой различные сложные модуляции, предшествующие возникновению хаоса. В результате воздействия внешним сигналом на частоте второй гармоники (4,6 ГГц) мощностью всего 8,17 мВт «квазихаотический» сигнал был полностью подавлен.

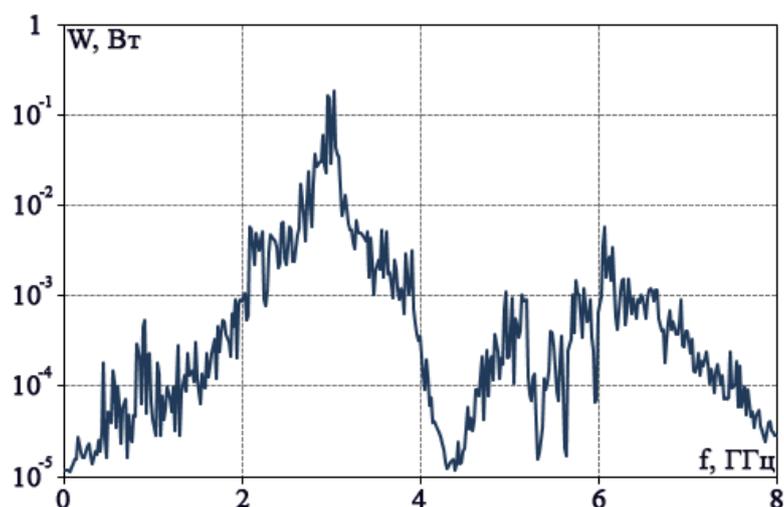


Рис. 5. Исследуемый хаотический режим ЛБВ автогенератора при токе $I=56$ мА и напряжении $U=2740$ В

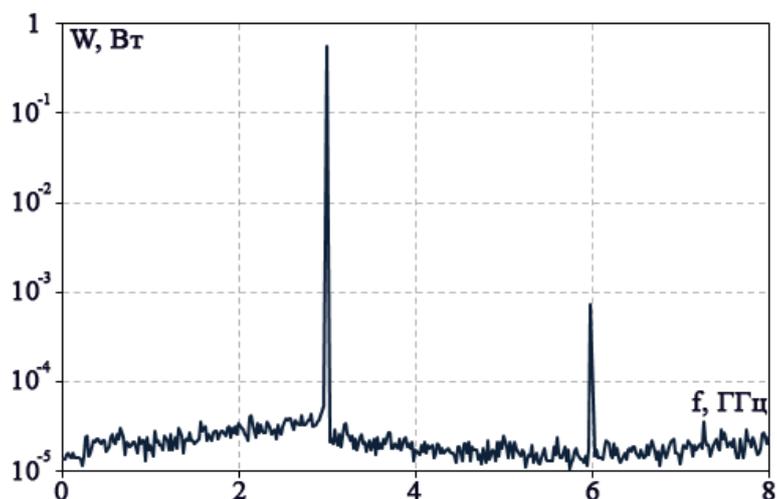


Рис. 6. Влияние внешнего сигнала на частоте первой гармоники (2,94 ГГц) на хаотический режим в ЛБВ автогенераторе

В п. 2.2 представлены результаты исследований генерации хаотических радиоимпульсов, для которых использовался изученный метод полного подавления хаоса. Для этого ЛБВ автогенератор вводился в автономный режим генерации устойчивого хаотического сигнала, на который с помощью генератора стандартных сигналов (ГСС) подавался импульсно-

модулированный сигнал. Для наблюдения режима автогенератор в автономном режиме имел ток $I = 56,5$ мА и ускоряющее напряжение $U = 2550$ В. Частота сигнала $f = 2988$ МГц. Спектры полученных хаотических импульсов, снимаемые с экрана осциллографа, при изменении длительности импульса сигнала представлены на рисунках 19, 20.

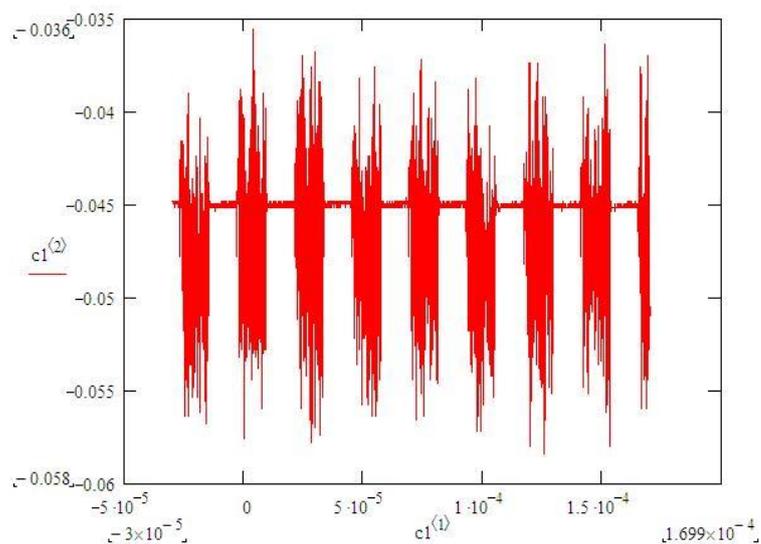


Рис. 7. Последовательность хаотических импульсов с длительностью 12 мкс, полученная с помощью управления ЛБВ автогенератора с ЗОС внешним одночастотным импульсным сигналом

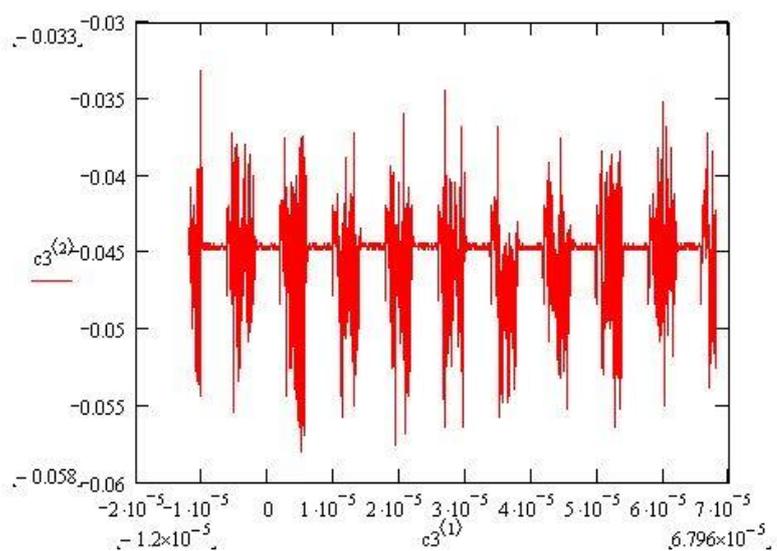


Рис. 8. Последовательность хаотических импульсов с длительностью 16 мкс, полученная с помощью управления ЛБВ автогенератора с ЗОС внешним одночастотным импульсным сигналом

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей выпускной работе проведено детальное исследование широкополосного автогенератора хаоса на основе промышленной ЛБВ десятисантиметрового диапазона с запаздывающей обратной связью. В результате выполнения работы получены следующие основные результаты:

1. Исследованы характеристики ЛБВ автогенератора в кольцевой схеме. Измерены и рассчитаны кольцевые моды колебаний и полное время задержки высокочастотного сигнала в кольце обратной связи. Показано хорошее соответствие результатов расчёта и эксперимента.
2. Исследованы различные характеры сигналов ЛБВ автогенератора и приведены соответствующие спектрограммы и фазовые портреты. В кольцевом ЛБВ автогенераторе показано наличие трёх гармоник нелинейного высокочастотного сигнала. Получен хаотический сигнал в широком диапазоне частот 1-8 ГГц.
3. Исследован эффект подавления широкополосного хаотического сигнала ЛБВ автогенератора внешним гармоническим воздействием определённой частоты и уровнем мощности сигнала.
4. Используя эффект подавления хаоса за счёт внешней модуляции гармонического сигнала, показана возможность получения последовательности хаотических радиоимпульсов с изменяемой длительностью 12 – 16 мкс.

Основные полученные результаты докладывались на школе-конференции «Нелинейные дни в Саратове для молодых» (2014), студенческой конференции ФНП СГУ (2015), а также на международной научно-технической конференции АПЭП-2014 (Саратов) и опубликованы в работах [16-17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] – Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Панас А.И., Пузиков Д.Ю., Старков С.О. Сверхширокополосная прямохаотическая передача информации в СВЧ – диапазоне// Письма в ЖТФ. 2003. т.29, вып.2.
- [2] – Хаслер М. Достижения в области передачи информации с использованием хаоса // Успехи современной радиоэлектроники. 1998. № 11.
- [3] – Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Панас А.И., Старков С.О. Прямохаотические схемы передачи информации в сверхвысокочастотном диапазоне// Радиотехника и электроника. 2001. т. 46, № 2.
- [4] – Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи. М.: Физматлит. 2002.
- [5] – Дмитриев Б.С., Жарков Ю.Д., Садовников С. А., Скороходов В. Н. Сверхвысокочастотные электронные генераторы хаотических радиоимпульсов// Журнал радиоэлектроники. 2012. №12.
- [6] – Ryskin N.M., Titov V.N. Generation of chaotic radiation in a driven traveling wave tube amplifier with time-delayed feedback// Phys. Plasmas. 2006. Vol. 13, No. 1, 013104.
- [7] – Дмитриев А.С., Ефремова Е.Ф., Румянцев Н.В. Генератор микроволнового хаоса с плоской огибающей спектра мощности в диапазоне 3-8GGHz// Письма в ЖТФ. 2014. т.40, вып.2.
- [8] – Залогин Н.Н., Кислов В.В. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах. Радиотехника. 2006.
- [9] – Калинин В.И., Залогин Н.Н., Кислов В.Я. Нелинейный резонанс и стохастичность в автоколебательной системе с запаздыванием// Радиотехника и электроника. 1983. № 10.
- [10] – Гилмор А.С.–мл. Лампы с бегущей волной. Москва: Техносфера. 2013

- [11] – Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. Москва: Техносфера. 2003
- [12] – Дмитриев Б.С., Жарков Ю.Д., Скороходов В. Н., Геншафт А.М. Синхронизация двух связанных клистронных автогенераторов с запаздыванием // Изв. вузов. ПНД. 2008. Т. 16, № 2.
- [13] – Безручко Б.П., Кузнецов С.П., Трубецков Д.И. Экспериментальное наблюдение стохастических автоколебаний в динамической системе электронный пучок - обратная электромагнитная волна// Письма в ЖЭТФ. 1979 Т.29, № 3.
- [14] – Дмитриев Б.С., Ю.Д. Жарков, Скороходов В.Н., Бирюков А.А. Генерация хаотических радиоимпульсов с помощью клистронного автогенератора с запаздыванием// Изв. вузов «пнд». 2006. т.14, №4.
- [15] – Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Максимов Н.А., Панас А.И. Генерация хаоса. Москва: Техносфера, 2012.
- [16] - Дмитриев Б.С., Жарков Ю.Д., Скороходов В.Н., Жидков А.П. Генерация широкополосных хаотических СВЧ-сигналов и управление ими в ЛБВ-автогенераторе // Материалы Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2014»: Т.1. Саратов, 25–26 сентября 2014. Саратов, 2014. С.29.
- [17] – Жидков А.П. Исследование сверхширокополосного генератора хаоса сантиметрового диапазона на основе ЛБВ // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2014. Т 22, № 6. С. 42.