

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нелинейной физики

Экспериментальное исследование режимов генерации автоколебательной  
системы на основе ЖИГ пленки при модуляции питания твердотельного  
усилителя

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 4011 группы

направления (специальности) 03.03.01 Прикладные математика и физика  
код и наименование направления (специальности)

Институт физики

наименование факультета, института, колледжа

Ветров Максим Константинович

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

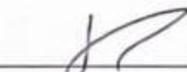
Старший преподаватель  
должность, уч. степень, уч. звание

  
дата, подпись

Романенко Д.В.  
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

должность, уч. степень, уч. звание

  
дата, подпись

Бегинин Е.Н.  
инициалы, фамилия

Саратов 2024 г.

Во **Введении** обоснована актуальность темы выпускной квалификационной работы.

В настоящее время перспективным направлением развития информационно-телекоммуникационных систем является использование сложных сигналов, включая хаотические, как новые носители информации. Основные преимущества хаотических сигналов включают широкую полосу частот, высокую помехоустойчивость, высокую электромагнитную совместимость и быстро спадающую автокорреляционную функцию. Эти свойства позволяют использовать хаотические сигналы в системах многопользовательских коммуникаций, передавая несколько сообщений в одном частотном диапазоне.

Исследования направлены на разработку новых методов генерации хаотических колебаний с использованием кольцевых автоколебательных систем и созданием широкополосных генераторов хаотических сигналов в диапазоне СВЧ. В таких системах применяются как вакуумные, так и твердотельные усилители мощности. Однако эффективность их использования снижается из-за работы активных элементов не в номинальных режимах. Решением этой проблемы являются кольцевые автоколебательные системы с пассивными нелинейными элементами на основе ферромагнитных пленок, что позволяет увеличить КПД генераторов хаоса.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что нелинейные механизмы могут приводить к стохастизации сигнала, проходящего через линию передачи с ферромагнитной пленкой, а также к формированию солитонов огибающей при импульсном возбуждении. Использование таких линий в кольцевых автоколебательных системах продемонстрировало возможность генерации хаотических СВЧ сигналов.

Эксперименты по подавлению хаоса под внешним периодическим воздействием показали, что при определенной мощности внешнего

гармонического сигнала возможно полное подавление хаотической динамики и установление периодического режима. Внешние воздействия, такие как периодическая последовательность радиоимпульсов или шумовой сигнал, также могут использоваться для управления динамикой автоколебательных систем.

Одной из важных задач является изучение динамики намагниченности в ферромагнетиках с помощью бриллюэновской спектроскопии для исследования тепловых характеристик материалов и процессов сигналов. В активных кольцевых системах с линиями задержки на магнитостатических волнах модуляционная неустойчивость может приводить к генерации стационарной последовательности импульсов-асолитонов огибающей, что важно для современных информационно-телекоммуникационных систем.

Периодические ферромагнитные структуры (магنونные кристаллы) в кольцевых системах выполняют роль частотоподающих элементов. Возможность генерации хаотических диссипативных солитонов в микроволновом диапазоне впервые предложена в системах с магنونными кристаллами, но детальное исследование этих механизмов пока отсутствует.

**В первой главе** было представлено описание эксперимента, цели и задачи. В данной работе было изучено поведение активной кольцевой системы с линией задержки на магнитостатических волнах, выполненной на основе тонкой ферромагнитной пленки. Для этого была собрана экспериментальная установка и сняты характеристики системы при модуляции питания усилителя прямоугольными импульсами с изменением их длительности и периода. Также были исследованы характеристики системы при модуляции питания усилителя по шумовому закону, изменяя напряжение усилителя и величину магнитного поля. Полученные данные были визуализированы в виде графиков. На основе этих графиков проведено исследование характеристик системы.

Во **второй** главе представлена схема экспериментальной установки.

Для проведения исследования поведения активной кольцевой системы с линией задержки на магнитоэлектрических волнах. была использована установка, схема которой представлена на рис.1.

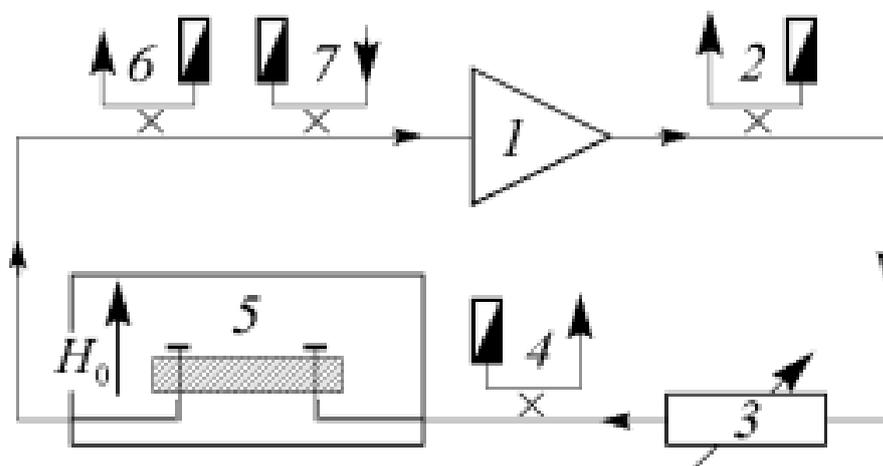
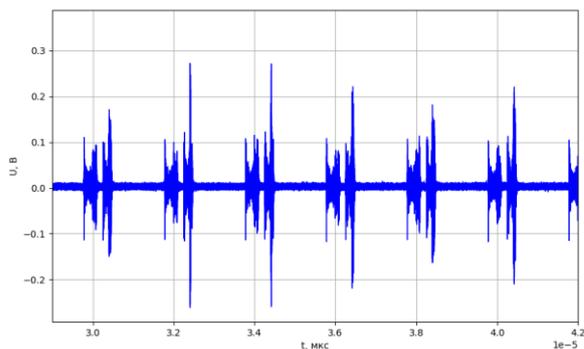


Рис.1. Схема экспериментальной установки

где 1 – транзисторный усилитель мощности, 2 – направленный ответвитель для подключения анализатора спектра или нагрузки, 3 – переменный аттенюатор, 4 - 6 – направленные ответвители для подключения измерителя мощности, 5 – нелинейная линия задержки на МСВ, 7 – направленный ответвитель для ввода в кольцо внешнего сигнала.

В **третьей** главе было исследовано поведение кольцевой системы с линией задержки на МСВ при модуляции питания усилителя прямоугольными импульсами. Изменяя длительность импульса  $dt$  при фиксированных периодах появления  $T = 2, 5, 10$  мкс, наблюдали изменения поведения системы.

а



б

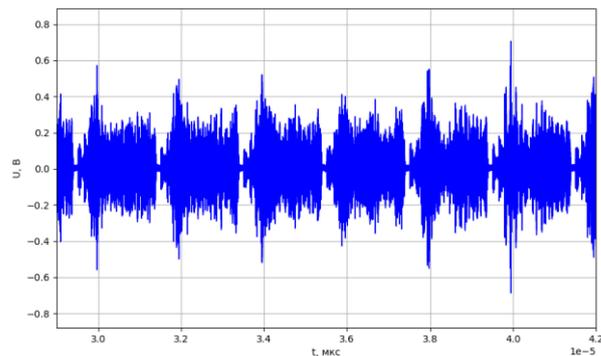
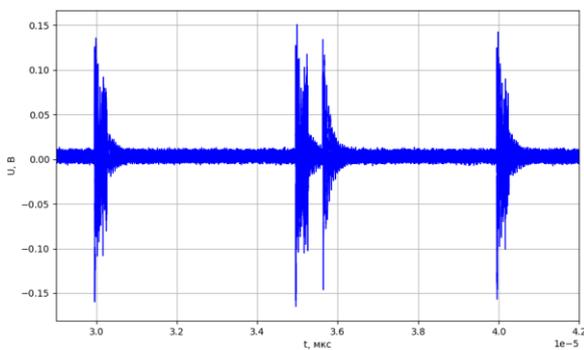


Рис.2 - Временная реализация сигнала при модуляции питания усилителя прямоугольными импульсами при периоде появления  $T = 2$  мкс, и длительности а:  $dt = 0.1$  мкс, б:  $dt = 1.9$  мкс

а



б

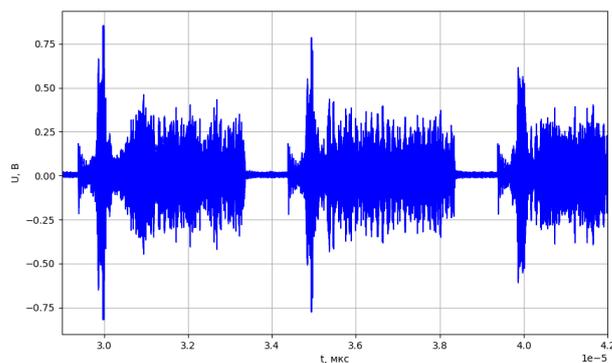
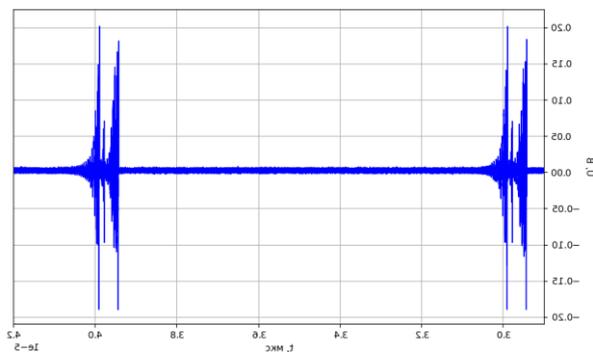


Рис.3 - Временная реализация сигнала при модуляции питания усилителя прямоугольными импульсами при периоде появления  $T = 5$  мкс, и длительности а:  $dt = 0.3$  мкс, б:  $dt = 4.1$  мкс

а



б

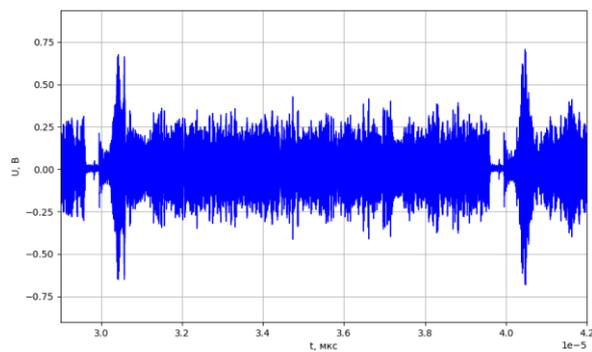
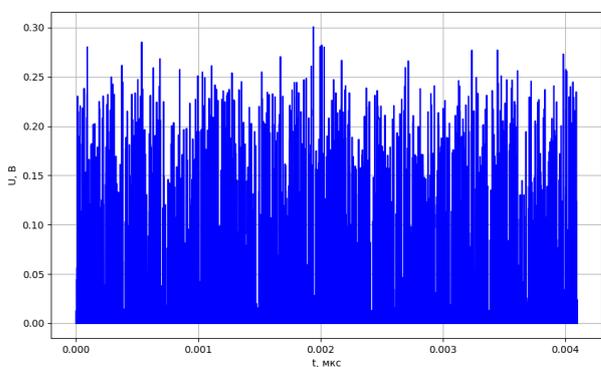


Рис.4 - Временная реализация сигнала при модуляции питания усилителя прямоугольными импульсами при периоде появления  $T = 10$  мкс, и длительности а:  $dt = 0.1$  мкс, б:  $dt = 9.7$  мкс

В четвертой главе было проведено исследование поведения кольцевой системы в режиме модуляции питания усилителя по шумовому закону. Изменяя напряжение  $U$  при фиксированных значениях величины магнитного поля  $H = 74, 114, 158$  Э

а



б

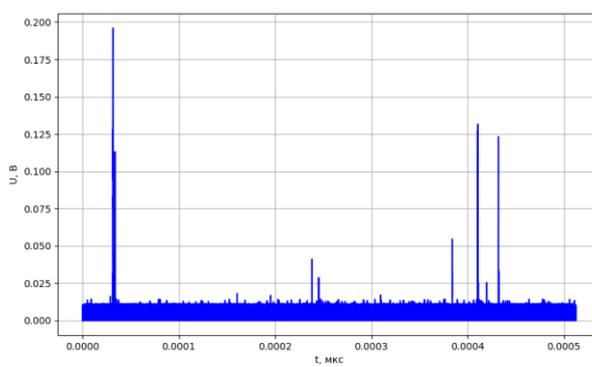


Рис.5 – Временная реализация сигнала при модуляции питания усилителя по шумовому закону, при величине магнитного поля  $H = 74$  Э, и напряжением а:  $U = 5$  В, б:  $U = 4.2$  В

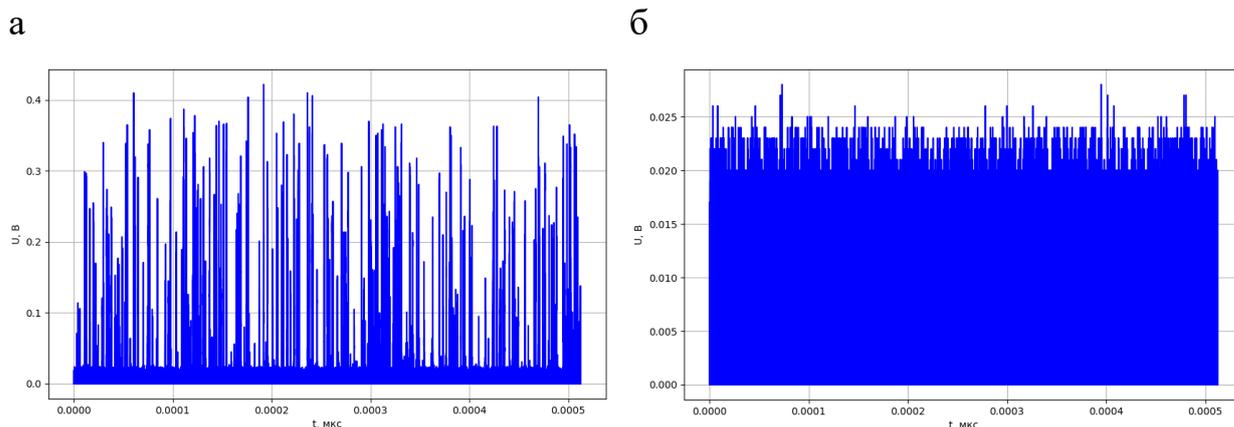


Рис.6 – Временная реализация сигнала при модуляции питания усилителя по шумовому закону, при величине магнитного поля  $H = 114$  Э, и напряжением а:  $U = 5$  В, б:  $U = 4.6$  В

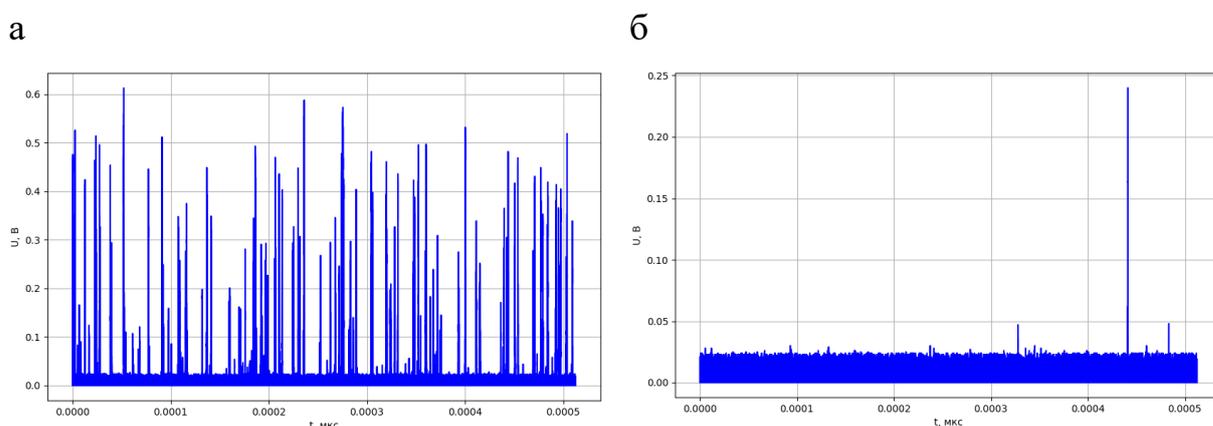


Рис.7 – Временная реализация сигнала при модуляции питания усилителя по шумовому закону, при величине магнитного поля  $H = 158$  Э, и напряжением а:  $U = 5$  В, б:  $U = 4.2$  В

В **Заключении** приведены основные результаты, полученные в выпускной квалификационной работе.

В работе исследованы характеристики кольцевой системы с линией задержки на магнитостатических волнах при модуляции питания усилителя прямоугольными импульсами и по шумовому закону. Установлено, что при модуляции прямоугольными импульсами система генерирует последовательность релаксационных колебаний, причем первые импульсы имеют увеличенную амплитуду и пиковую мощность. При модуляции по

шумовому закону генерация начинается при напряжении от 4 В, а время автокорреляции сигнала быстро спадает при приближении к пороговому значению.

## Список литературы

1. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи. М.: Физматлит. 2002;
2. Залогин Н.Н., Кислов В.В. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах. М.: Радиотехника, 2006
3. Методы нелинейной динамики и теории хаоса в задачах электроники сверхвысоких частот. В 2-х томах. Под редакцией А.А. Короновского, Д.И. Трубецкова, А.Е. Храмова. Москва. Физматлит, 2009
4. Wu M., Kalinikos B.A., Patton C.E. Self-generation of chaotic solitary spin wave pulses in magnetic film active feedback rings// Phys. Rev. Lett. 2005. Vol. 95, 237202;
5. Hagerstrom A.M., Tong W., Wu M., Kalinikos B.A., and Eykholt R. Excitation of chaotic spin waves in magnetic film feedback rings through three-wave nonlinear interaction// Phys. Rev. Lett. 2009. Vol. 102, 207202;
6. Гришин С.В., Гришин В.С., Храмов А.Е., Шараевский Ю.П. Генерация широкополосного хаотического сигнала в автоколебательной системе с нелинейной линией передачи на магнитостатических волнах// ЖТФ. 2008. Т. 78, № 5. С. 89-98
7. Кищинский А.А. Твердотельные СВЧ усилители мощности на нитриде галлия – состояние и перспективы развития// Материалы 19-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Украина, Севастополь. 2009. С. 11-16
8. Гришин С.В., Зарькова Е.В., Шараевский Ю.П. Генерация хаотических СВЧ-импульсов в широкополосной кольцевой автоколебательной системе с ферромагнитной пленкой под воздействием импульсно-модулированного СВЧ сигнала // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37, вып. 5. С. 96-104.

9. Matsumoto K., Tsuda I. Noise-induced order // *J. Stat. Phys.*, 1983, vol. 33, no. 3, p. 757.
10. Pikovsky A. S., Kurths J. Coherence resonance in a noise-driven excitable system // *Phys. Rev. Lett.*, 1997, vol. 78, no. 5, pp. 775–778.
11. Demokritov S.O., Hillebrands B., Slavin A.N. Brillouin light scattering studies of confined spin waves: linear and nonlinear confinement// *Physics Reports*. 2001. Vol. 348. P. 441-489.
12. Scott M.M., Kalinikos B.A., Patton C.E. // *Appl. Phys. Lett.* 2001. Vol. 78, No 7. P. 970-972
13. Бегинин Е.Н., Гришин С.В., Шараевский Ю.П. // *Письма в ЖЭТФ*. 2008. Т. 88, № 10. С. 743-747;
14. Гришин С.В., Дмитриев Б.С., Жарков Ю.Д., Скороходов В.Н., Шараевский Ю.П. // *Письма в ЖТФ*. 2010. Т. 36, № 2. С. 62-69
15. A D Karenowska, A V Chumak, A A Serga, J F Gregg and B Hillebrands Employing Magnonic crystal based forced dominant wavenumber selection in a spin-wave active ring// *Applied Physics Letters*;Feb2010, Vol. 96 Issue 8, p082505
16. Grishin S.V., Sharaevskii Yu.P., Nikitov S.A., Beginin E.N., Sheshukova S.E., “Self-Generation of Chaotic Dissipative Soliton Trains in Active Ring Resonator With 1-D Magnonic Crystal”, *IEEE Transactions on Magnetism*, 47:10 (2011), 3716–3719
17. G. Benettin Kolmogorov entropy and numerical experiment / G. Benettin, L. Galgani, J. M. Strelcyn / - *Phys. Rev. A.*, - Vol. 14, - No. 6, - pp. 2338-2345.
18. Кузнецов С.П. Динамический хаос. - М.: Физматлит, - 2001.
19. Гуревич А. Г. Магнитные колебания и волны / Гуревич А. Г., Мелков Г. А. / - М.: Физматлит - 1994.

20. Романенко Д.В. Генерация хаотической последовательности свч-импульсов в 86 автоколебательной систем с ферромагнитной плёнкой // Известия вузов. ПНД. 2012. Т. 20, № 1. С. 67.