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

Кафедра физики открытых систем

Исследование режимов спиновых волн в магнонном интерферометре

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 4 курса 431 группы

Направления 09.03.02.«Информационные системы и технологии»
код и наименование направления

Факультета нелинейных процессов
наименование факультета

Чинарова Сергея Алексеевича
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

к.ф.-м.н, доцент		А.В. Садовников
должность, уч. ст., уч. зв.	личная подпись, дата	инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор		А.А. Короновский
должность, уч. ст., уч. зв.	личная подпись, дата	инициалы, фамилия

Саратов 2020

Введение.

Исследование нерегулярных планарных ферритовых волноводов представляет большой интерес в настоящее время, поскольку такая топология волноведущих структур обеспечивает как управление фазовыми характеристиками спиновых волн, таки локализацию энергии волны по мере ее распространения вдоль структуры. Последняя особенность представляет интерес для нелинейных приложений на основе нерегулярных структур, изготовленных из тонких пленок железо-иттриевого граната. Такие структуры могут быть использованы как базовые элементы для создания различных устройств функциональной магнитоэлектроники: волноводов, фазовращателей, мультиплексоров, фильтров и ответвителей.

Актуальность фундаментальных и прикладных исследований магнитных явлений и волновых процессов в различных магнитоупорядоченных средах и структурах на основе ферритов обусловлена следующими причинами.

Во-первых, анизотропия ферритовых структур дает возможность возбуждать в них спиновые волны с неколлинеарным характером (когда векторы фазовой и групповой скорости неколлинеарны), характеризующиеся отличными от законов геометрической оптики изотропных сред закономерностями распространения, отражения и преломления.

Во-вторых, наличие в самих ферритовых кристаллах различных типов взаимодействий (таких как дипольное, обменное, магнитоупругое, магнитооптическое) позволяет реализовать в этих кристаллах такие эффекты и явления, которые принципиально невозможно реализовать в изотропных средах.

В-третьих, поскольку в последние годы заметное развитие получила технология изготовления мета-материалов, с помощью которых пытаются искусственно создать среды, имитирующие, например, «магнитную стенку» или отрицательные значения диэлектрической и магнитной проницаемостей, то, естественно ожидать, что использование магнитоупорядоченных сред в составе мета- материалов позволит получить искусственные среды и структуры с совершенно новыми, необычными свойствами, которые могут найти применение в твердотельной электронике, радиолокации и при создании новых радиопоглощающих материалов.

В-четвертых, в связи с тем, что недавно рабочие частоты компьютеров, приборов связи и телекоммуникаций достигли СВЧ диапазона, возникают как реальные перспективы использования в указанной технике ряда устройств спинволновой электроники , так и необходимость исследования электромагнитной совместимости отдельных устройств в составе различных приборов (к примеру, любой жесткий диск компьютера упрощенно представляет собой плоский ферритовый слой с доменной структурой, в котором вполне могут

возникать различные спинволновы возбуждения в диапазоне частот 100 – 3000 МГц, то есть именно на рабочих частотах процессора). Из изложенного выше очевидна актуальность исследования различных эффектов, явлений и характеристик волновых процессов в ферритовых пленках и структурах при распространении в них дипольных спиновых волн, называемых обычно магнитостатическими волнами.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование режимов спиновых волн в нерегулярных планарных ферритовых структурах и поиск оптимальной формы структуры магнонного интерферометра.

Бакалаврская работа содержит 25 страниц, приведённый список литературы включает 10 наименований.

Основное содержание работы

В первой главе описаны методы исследования спиновых волн, рассмотрение спиновых волн в тонких магнитных пленках и применение ферромагнитных материалов в СВЧ приборах.

Метод конечных разностей

Для микромагнитного моделирования проводится численное решение уравнения движения намагниченности (Уравнения Ландау — Лифшица) методом конечных разностей.

$$\frac{\partial \vec{M}}{\partial t} = -\gamma \left[\vec{M} \times \vec{H}_{eff} \right] \qquad (1)$$

Где $M(r,t)$ –намагниченность единицы объёма ферромагнетика, γ - магнитомеханическое отношение, $H_{eff}(r,t)$ - суммарное эффективное магнитное поле, действующее на магнитный момент частицы.

Суть метода заключается в следующем: расчетная область разбивается наконечные элементы в форме многоугольников того же пространства с узлами. Смежные элементы должны иметь общие стороны и узлы. Далее, все производные, входящие в дифференциальные уравнения и граничные условия, приближенно заменяются по формулам численного дифференцирования соответствующими разностными отношениями и выражаются через неизвестные

узловые значения искомой функции. Совокупность полученных отношений будет системой линейных алгебраических уравнений относительно значений функций в узлах сетки. Приближенное решение рассматриваемой задачи получается в результате решения данной системы и интерполяцией в промежутках между узлами. Недостатком метода является высокий порядок получаемых систем. Преимущества - это слабая зависимость от исходного состояния и геометрии рассматриваемой структуры.

Постановка задачи

Исследование распространения спиновой волны в прямоугольном волноводе. Для решения задачи воспользуемся программой MuMax3 и OOMMF. Постановка задачи численного моделирования производится путем задания геометрии, материальных параметров структуры и параметров численной схемы в расчетном файле

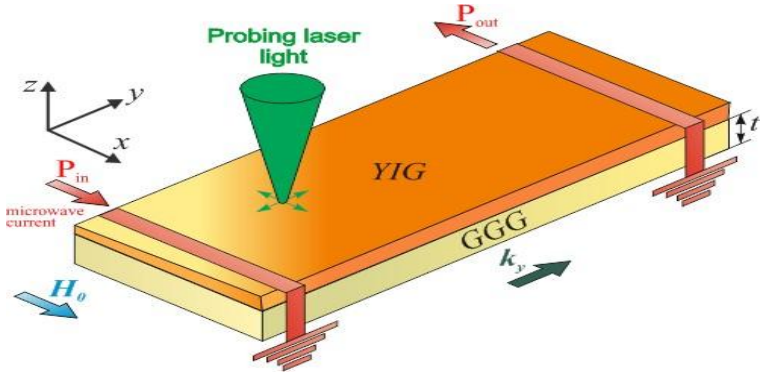


Рис.6.Исследуемая модель(волновод на основе железо-иттриевого граната.)

Прямоугольный волновод на основе плёнки железо-иттриевого граната с параметрами:

Ширина w= 2000 мкм

Толщина d=10 мкм Длина L= 8000 мкм

Намагниченность плёнки M_0 = 1750 /4pi Гс Внешнее магнитное поле H_0 = 1300

Э затухание alpha = 10e-5

Подложка гадолиний-галлиевый гранат

Образец имеет периодические граничные условия, для предотвращения образования доменных структур и области увеличенной диссипации на границах структуры при y=0 и y=L, для предотвращения влияния отражённых волн на результаты численного эксперимента.

В итоге мы получаем численное моделирование магнитного волновода на различных частотах изображенных на рисунках ниже:

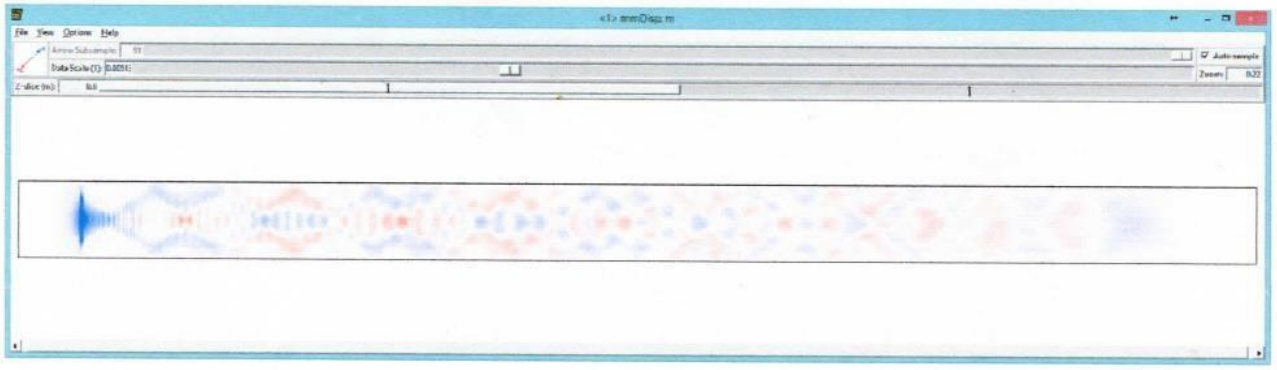


Рис.3. Распространение спиновой волны на частоте 5.05 ГГц.

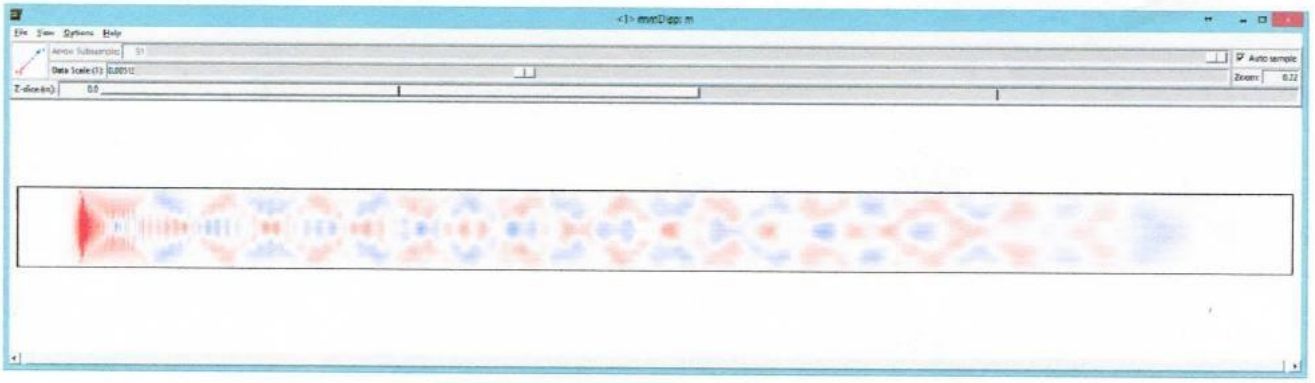


Рис.4. Распространение спиновой волны на частоте 5.1 ГГц.

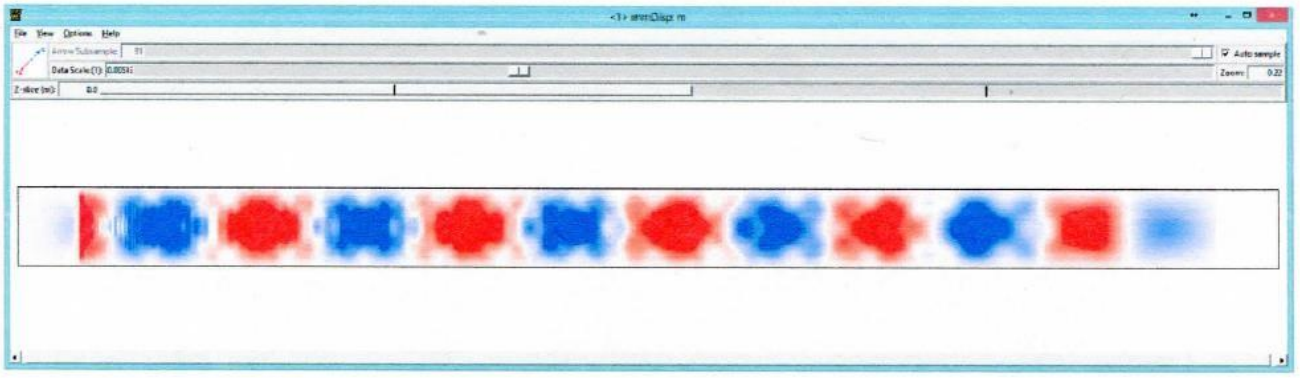


Рис.5. Распространение спиновой волны на частоте 5.2 ГГц.

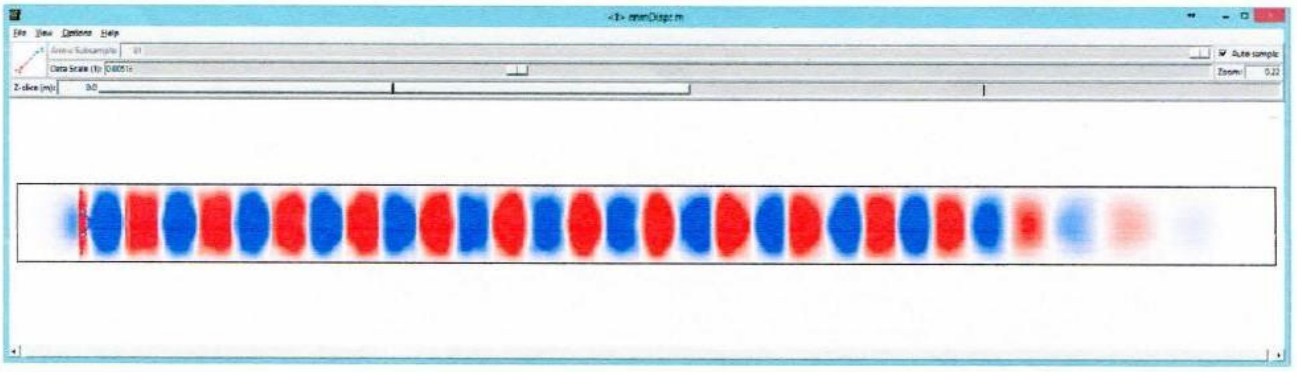
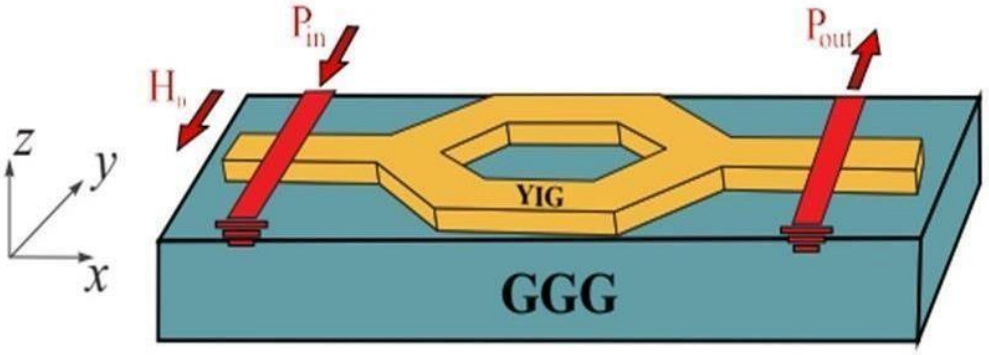


Рис.6. Распространение спиновой волны на частоте 5.2 ГГц.

.

Исследование режимов спиновых волн в магнонном интерферометре.



Интерферометр на основе плёнки железо-иттриевого граната с параметрами:

Общая длинна – 3.5 мм

Общая ширина – 1.5 мм Ширина волновода – 0.5 мм

Длина левого и правого плеча -675 мкм

Толщина пленки – 10 мкм

Намагниченность насыщения – 1.39e-5 А/м

Величина постоянного внешнего магнитного поля – 1200 Э

Затухание al.pha = 10e-5

Подложка гадолиний-галлиевый гранат

Для решения задачи воспользуемся программой MuMax3 и OOMMF. Постановка задачи численного моделирования производится путем задания геометрии, материальных параметров структуры и параметров численной схемы в расчетном файле. Воспользуемся методом конечных элементов.

Суть метода заключается в следующем: расчетная область разбивается на конечные элементы в форме многоугольников того же пространства с узлами. Смежные элементы должны иметь общие стороны и узлы. Далее, все производные, входящие в дифференциальные уравнения и граничные условия, приближенно заменяются по формулам численного дифференцирования соответствующими разностными отношениями и выражаются через неизвестные узловые значения искомой функции. Совокупность полученных отношений будет системой линейных алгебраических уравнений относительно значений функций в узлах сетки. Приближенное решение рассматриваемой задачи получается в результате решения данной системы и интерполяцией в промежутках между узлами.

Построим распределение z-компоненты намагниченности для ЖИГ волновода рассчитанное с помощью микромагнитного моделирования. При различных частотах входного сигнала. Построенные распределения амплитуды z-компоненты намагниченности для ЖИГ волновода при различных частотах входного сигнала изображены на следующих рисунках.

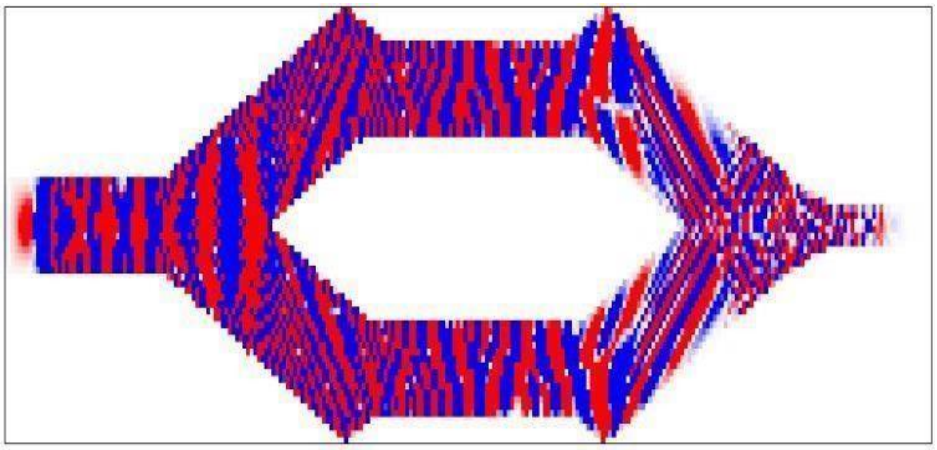


Рис. 8. Распределение амплитуды z-компоненты намагниченности для ЖИГ интерферометра (частота 5.1 ГГц)

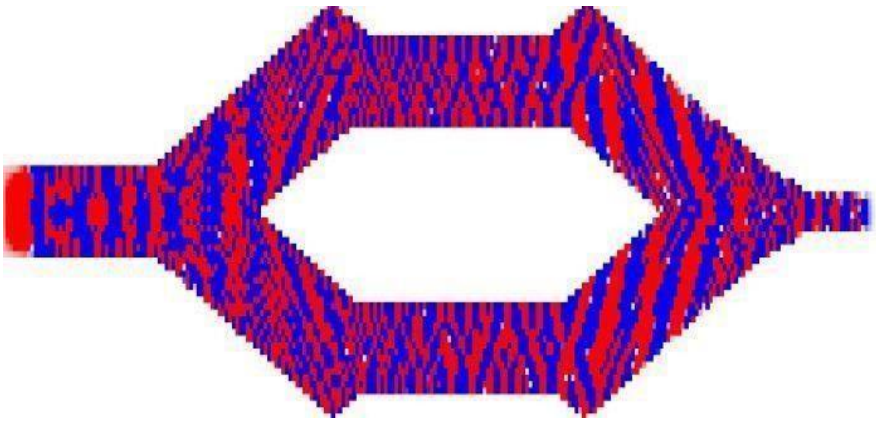


Рис. 9. Распределение амплитуды z-компоненты намагниченности для ЖИГ интерферометра (частота 5.2ГГц)

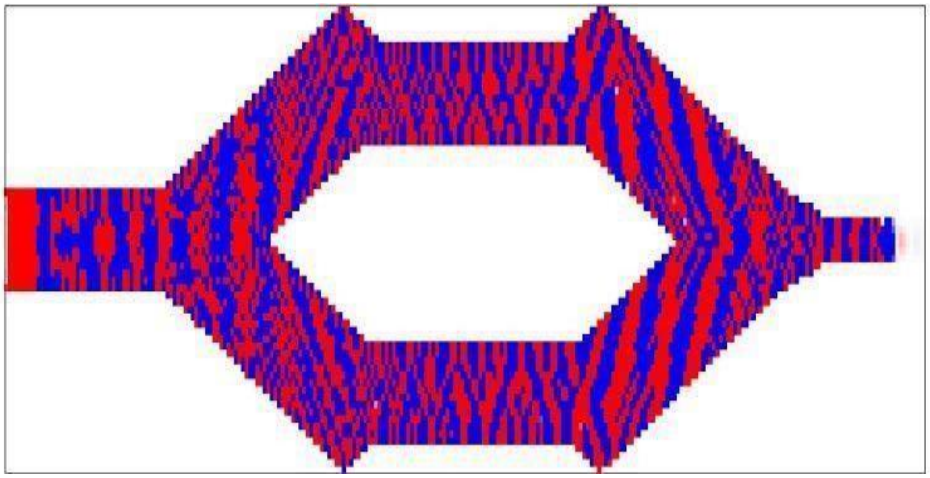


Рис. 10. Распределение амплитуды z-компоненты намагниченности для ЖИГ интерферометра (частота 5.3ГГц)

Для более подробной визуализации результатов воспользуемся программой MATLAB. На следующих рисунках представлено распределение амплитуды z-компоненты намагниченности в разные моменты времени от начала распространения волны.

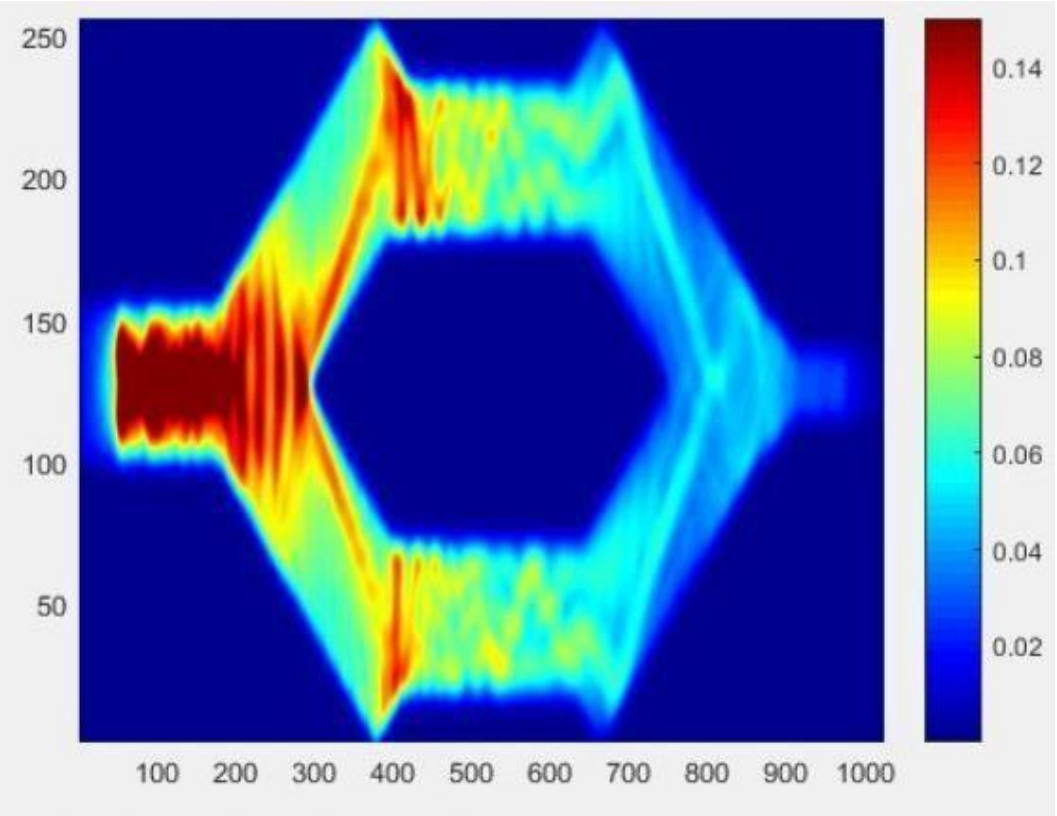


Рис. 11. Распределение амплитуды z-компоненты для ЖИГ интерферометра (частота 5.3 ГГц время 20 нс)

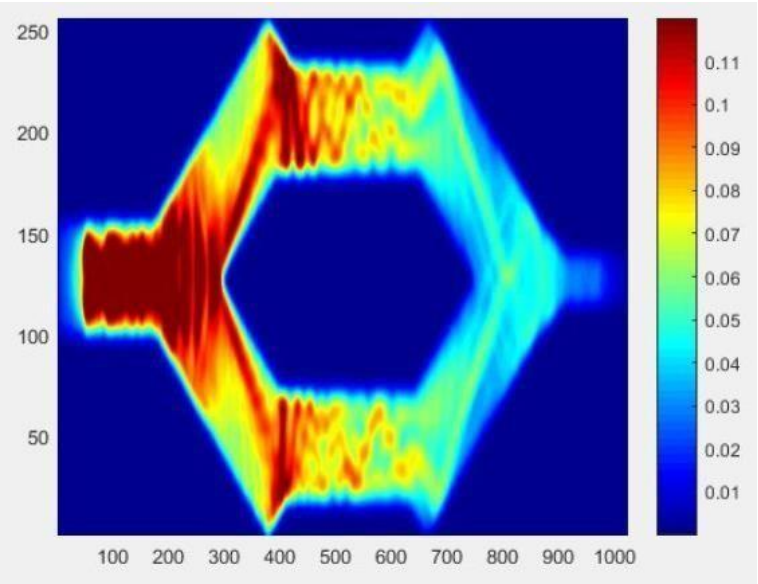


Рис. 12. Распределение амплитуды z-компоненты для ЖИГ интерферометра (частота 5.3 ГГц время 30 нс)

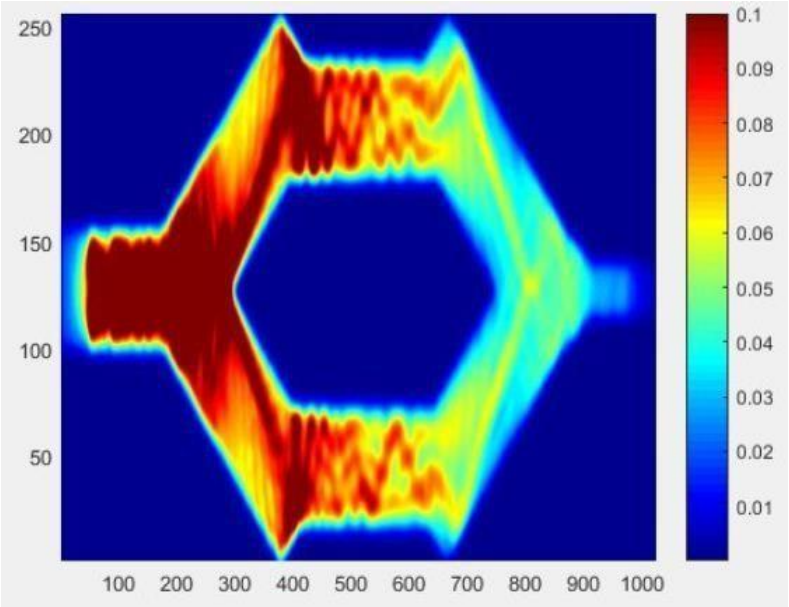


Рис. 13. Распределение амплитуды z-компоненты для ЖИГ интерферометра (частота 5.3 ГГц время 50 нс)

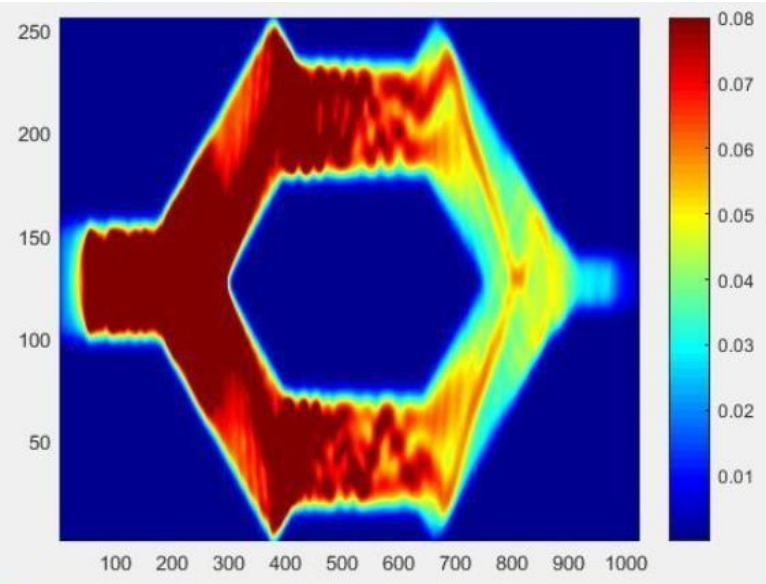


Рис. 8. Распределение амплитуды z-компоненты для ЖИГ интерферометра (частота 5.3 ГГц время 60 нс)

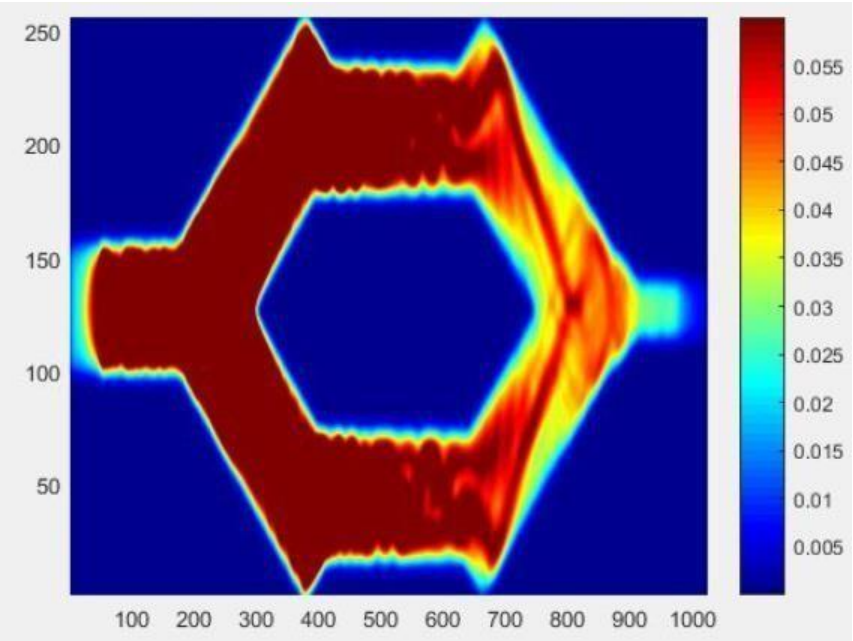


Рис. 15. Распределение амплитуды z-компоненты для ЖИГ интерферометра (частота 5.3 ГГц время 80 нс)

Методом микромагнитного моделирования проведен расчет распространения магнитостатической спиновой волны при различных частотах возбуждающего гармонического сигнала, результаты которого изображены на рисунках. Расчет произведен в программе Mumax3, визуализация результатов – в программе OOMMF. Видно, что при распространении гармонического сигнала в интерферометре, на выходе получаем одномодовый сигнал с изменившейся, в результате интерференции, длиной волны. Так же видно распространение z-компоненты намагниченности со временем. Визуализация расчетов была проведена в программе MATLAB.

Заключение

В данной работе исследована динамика распространения спиновой волны в ЖИГ интерферометре. Для аналитического рассмотрения динамики распространения спиновых волн в ЖИГ интерферометре использовалось магнитостатическое приближение, численное моделирование проводилось посредством решения уравнения движения намагниченности методом конечных разностей во временной области. Постановка задачи численного моделирования производилась путем задания геометрии, материальных параметров структуры и параметров численной схемы в расчетном файле. Получены распределения векторов намагниченности в структуре для разных частот входного сигнала. Рассмотрено явление интерференции в анизотропной среде ЖИГ пленки.

Список использованных источников

1. Вашковский, А.В. Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот / А.В.Вашковский, В.С.Стальмахов, Ю.П.Шараевский. М. : Издательство Саратовского университета, 1993, с.48
2. Гуревич, А.Г. Магнитные колебания и волны / А. Г. Гуревич, Г. А. Мелков. М. : Физматлит, 1994, с.40
3. Вайнштейн, Л.А. Электромагнитные волны / Л.А. Вайнштейн. М.: Радио и связь, 1988, с.140
4. Ахиезер, А.И. Спиновые волны / А.И. Ахиезер, В.Г. Барьяхтар, С.В. Пелетминский. М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1967, с.60
5. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 1994. — 544 с.
6. Vansteenkiste, A. The design and verification of MuMax3 / A. Vansteenkiste [и др.]. M: AIP Publishing, 2014, p.2-5
7. «OOMMF user’s guide», October 30, 2002, c. 16-20
8. Сирота А.А. Методы и алгоритмы анализа данных и их моделирование в MATLAB — Высш. шк., 2017.
9. Калиникос, Б.А. Спиновые волны в ферромагнитных пленках / Б.А. Калиникос. М.:Соросовский образовательный журнал, №5, 1996, с. 93-100
10. Формалев, В.Ф. Численные методы / Формалев В.Ф., Ревизников Д.Л. М.:ФИЗМАТЛИТ, 2004, с.221