

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

Особенности распространения магнитостатических спиновых волн в  
касательно намагниченных нерегулярных магнитных волноводах

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 211 группы

направления 03.03.01 прикладные математика и физика

Факультета нелинейных процессов

Шелухина Антона Дмитриевича

Научный руководитель

Ассистент

\_\_\_\_\_

Романенко Д.В.

дата, подпись

Заведующий кафедрой нелинейной физики

д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_

Рыскин Н.М.

дата, подпись

Саратов 2017 год

## **Введение**

**Актуальность работы.** В настоящее время одним из основных этапов развития электроники СВЧ, связанным с развитием твердотельной электроники, стало использование в качестве волноведущих сред волноводы с заданными параметрами. В твердом теле в зависимости от его характеристик, внешних условий и частоты возбуждения могут распространяться волны различных типов - электромагнитные, акустические, спиновые. Спиновые волны можно условно разделить на дипольные и обменные. Они могут существовать в очень широком частотном диапазоне от единиц до сотен гигагерц. При малых значениях волнового числа обменное взаимодействие в большинстве случаев не играет существенной роли в формировании спектра волн, такие волны называют дипольными спиновыми или магнитостатическими волнами (МСВ). Различают три типа магнитостатических волн – прямые объемные волны в нормально намагниченных пленках феррита (ПОМСВ), обратные объемные волны в касательно намагниченных пленках (ООМСВ) и, наконец, поверхностные МСВ (ПМСВ) также в касательно намагниченных пластинах феррита.

Магнитостатические волны обладают целым рядом преимуществ перед другими типами волн в твердых телах. Во-первых, такие волны легко возбуждаются и принимаются практически во всем диапазоне СВЧ, во-вторых, ими легко можно управлять внешним магнитным полем, и, в-третьих, одно из наиболее существенных и важных преимуществ - дисперсия МСВ зависит от внешних нагрузок, таких как металлические экраны, периодические границы и др. Использование магнитостатических волн в магнитоупорядоченных средах позволяет создавать на их основе перестраиваемые устройства в СВЧ диапазоне с широкими функциональными возможностями.

Изменяя параметры внешнего воздействия и самого волновода мы можем рассмотреть как именно будет распространяться волна в исследуемом объекте.

**Целью настоящей бакалаврской работы** является расчет параметров, при которых волновод будет полностью пропускать волну. Для этого мы будем изменять такие параметры как частота внешнего воздействия и угол, между направлением магнитного поля и продольной осью волновода.

### **Краткое содержание работы:**

В главе 1 проведены теоретические расчеты для частоты распространения волны в неограниченном волноводе. В главе 2 приведена рассматриваемая структура, а так же ее параметры. В главе 3 приведены примеры компьютерного моделирования. Глава 4 содержит вывод и заключение.

**Задачи** данной работы заключаются в следующем:

1. теоретический расчет частоты, при которой волна будет распространяться во всем волноводе
2. компьютерный расчет с использованием найденных параметров внешнего воздействия.

## Глава 1.

### Теоретический расчет частоты.

$$f_{\text{ниж}} = \sqrt{\omega_H(\omega_H + \omega_M)}$$

$$f_{\text{вер}} = \omega_H + \omega_M / 2$$

$$\omega_H = \gamma H_0; \omega_M = 4\gamma\pi M_0$$

где  $M_0$ - намагниченность насыщения,  $\gamma$ - гиромагнитное отношение.

Частота, при которой волна проходит в 2 плечах волновода:

$$\omega_{\perp} = 2.8\sqrt{800(800 + 1750)} \approx 4 \text{ ГГц}$$

Данные расчеты проведены для модели неограниченного волновода. При компьютерном моделировании используется ограниченный волновод, значит частота будет немного меньше, чем при теоретических расчетах.

На основе данных расчетов можно рассмотреть данную модель с этими же параметрами внешнего воздействия при моделировании.

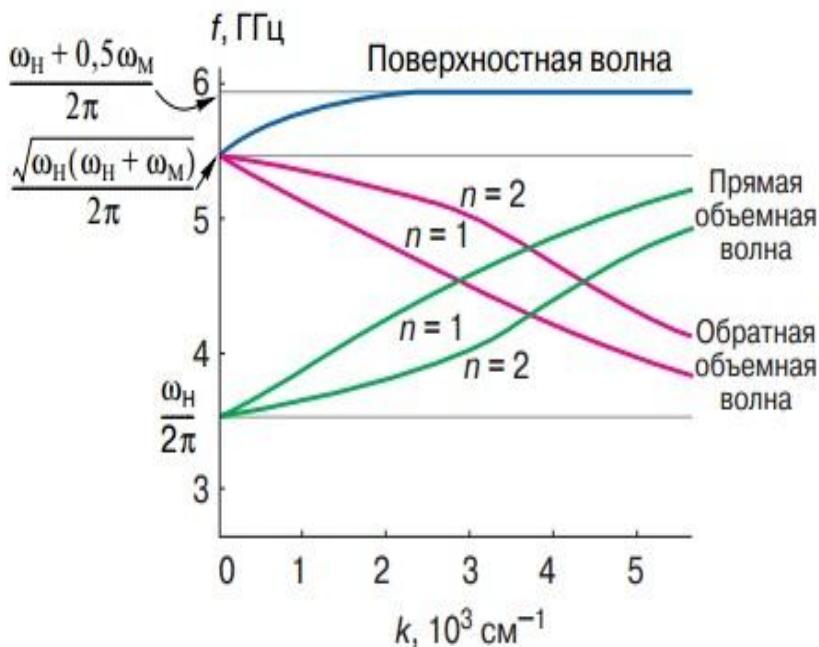


Рис.1 Дисперсионные характеристики МСВ

В зависимости от направления магнитостатического поля в волноводе будут распространяться разные волны, а именно поверхностные и обратно-объемные волны.

Объемными называются волны, для которых зависимость переменной намагниченности и составляющих электромагнитного поля от координаты в направлении, перпендикулярном поверхности пленки, является тригонометрической. Для поверхностных волн эта зависимость является экспоненциальной – амплитуды переменной намагниченности и составляющих поля убывают при удалении от одной из поверхностей пленки. От какой именно, зависит от направления намагничивания и направления распространения волны.

Прямыми называются волны, для которых направление групповой скорости (то есть скорости распространения сигнала и переноса энергии)  $\partial\omega/\partial k$  совпадает с направлением фазовой скорости  $\omega/k$ . Для обратных волн эти направления противоположны.

## Глава 2.

В данной работе рассматривается волновод из ферромагнетика ЖИГ(железоиттриевый гранат) состоящий из 2 плечей(верхнее x и нижнее y).

Параметры волновода

$X := 3000e-6$  м

$Y := 3000e-6$  м

$Z := 10e-6$  м

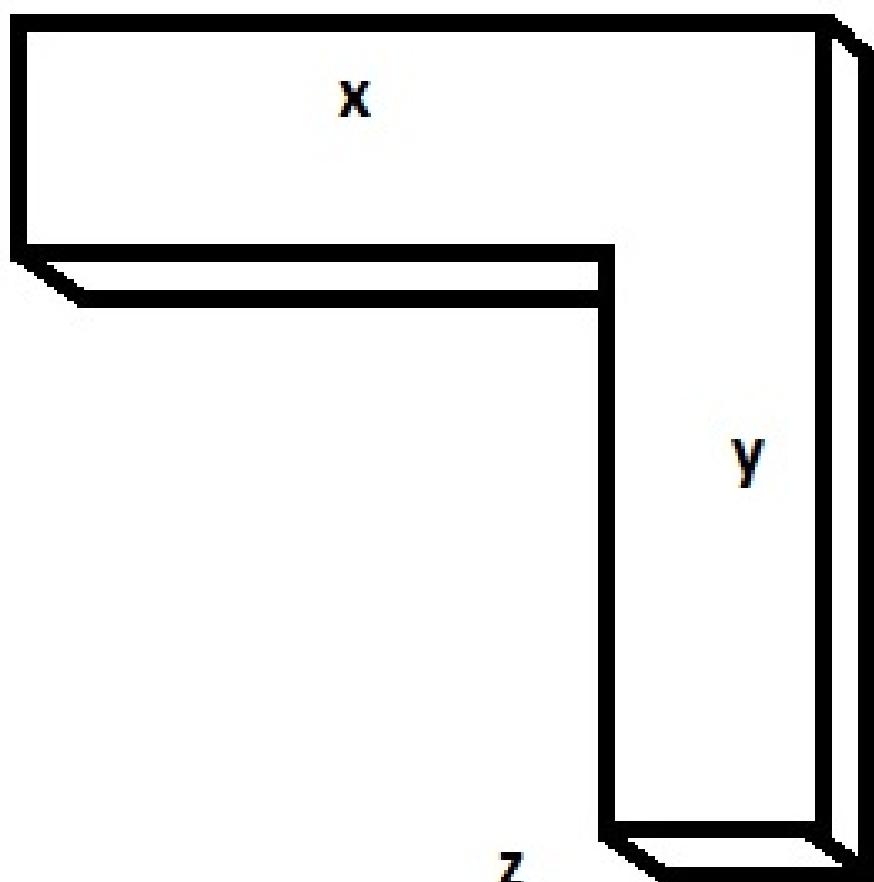


рис.2

## **Глава 3.**

### **Компьютерное моделирование.**

Для данных расчетов будет использоваться среда tmax. Загружая файл с параметрами магнитостатического поля и угла между полем и волноводом мы сможем наблюдать как именно распространяется волна.

После расчета в среде tmax, открыв файл в графическом редакторе oommf можно наглядно увидеть как именно распространяется волна.

**Рассмотрим несколько примеров моделирования.**

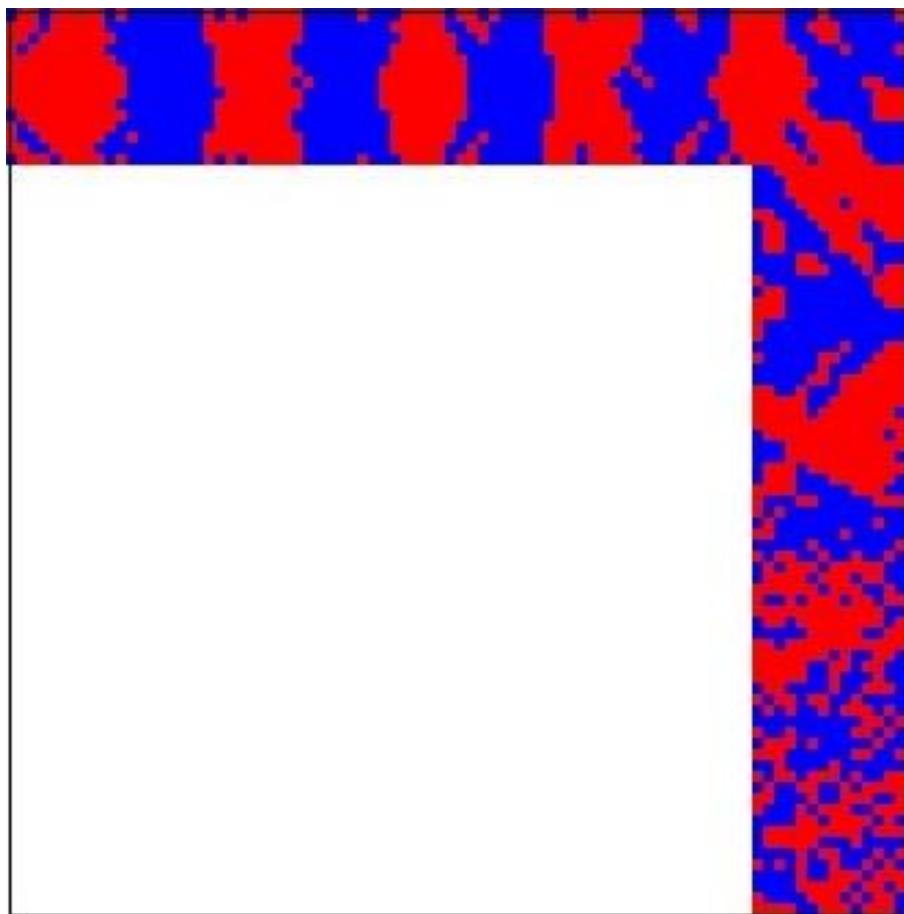


Рис.3

Распространение волны при параметрах:

частота магнитостатического поля 3970 МГц  
угол между полем и волноводом( $bb$ )=0

На рис.3 смоделирован один из «критических» случаев — угол 0. Данная частота взята как базовая, которая была получена из теоретических расчетов. После компьютерных расчетов можно увидеть, как именно распространяется фронт волны по волноводу. В данном случае волна полностью проходит верхнее плечо и заходит в нижнее, это соответствует тому, что волна полностью пройдет волновод. Видно, что в верхнем плече волна имеет 1 моду, при вхождении в нижнее плечо — 2 .

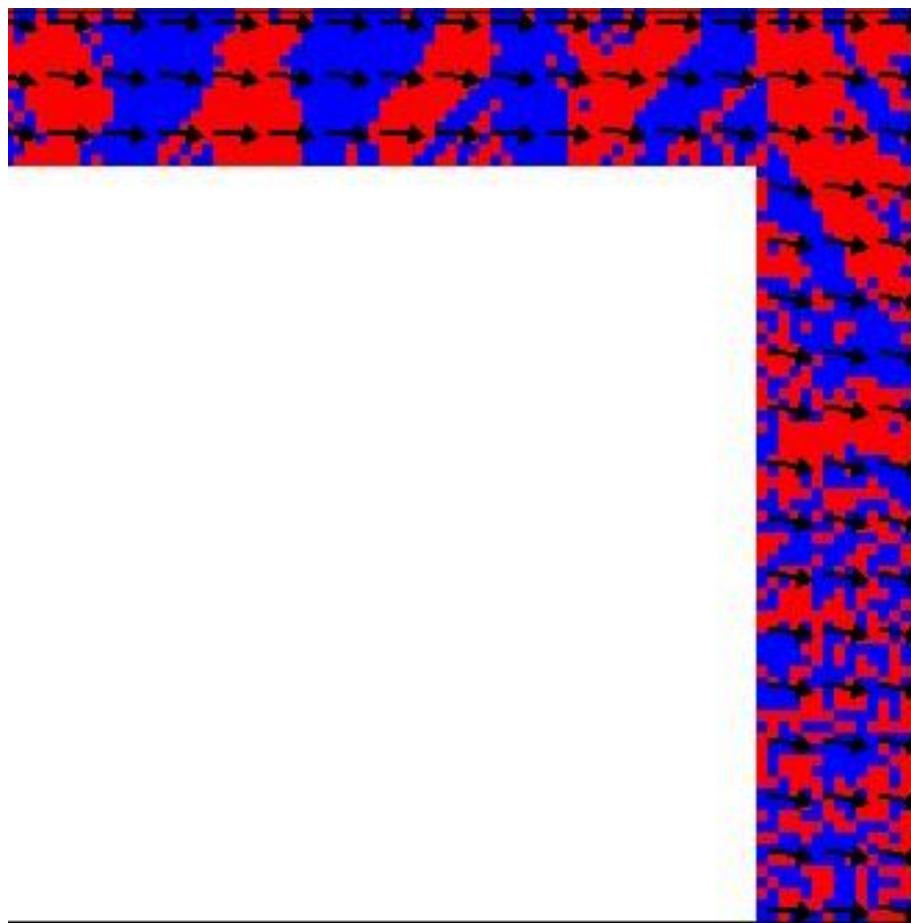


Рис.4

Распространение волны при параметрах:

частота магнитостатического поля 3970 МГц  
угол между полем и волноводом( $bb$ )=-10

Волновой фронт заметно изменился по сравнению с углом 0. При угле -10 волна распространяется явно лучше, затухая только в первой трети нижнего плеча.

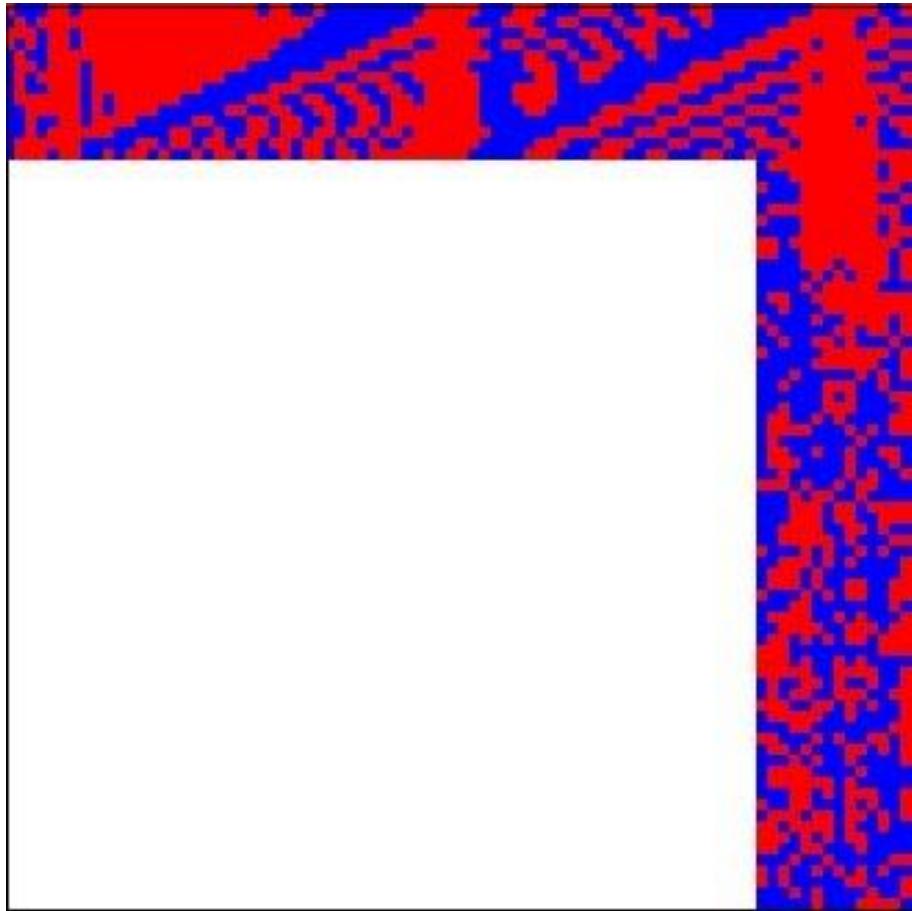


рис.5

Распространение волны при параметрах:

частота магнитостатического поля 3970 МГц  
угол между полем и волноводом( $bb$ )=150

Ранее мы расчитали, что при увеличении угла волна распространяется лучше, однако при дальнейшем увеличении угла(больше, чем 90)волн не проходит в нижнее плечо. Можно сделать вывод, что целесообразно проводить расчеты при угле 90 и наименьшей частоте.

Рассмотрим пример с частотой 3 ГГц. Основываясь на теоретических расчетах при такой частоте волна должна распространяться только в верхнем плече.

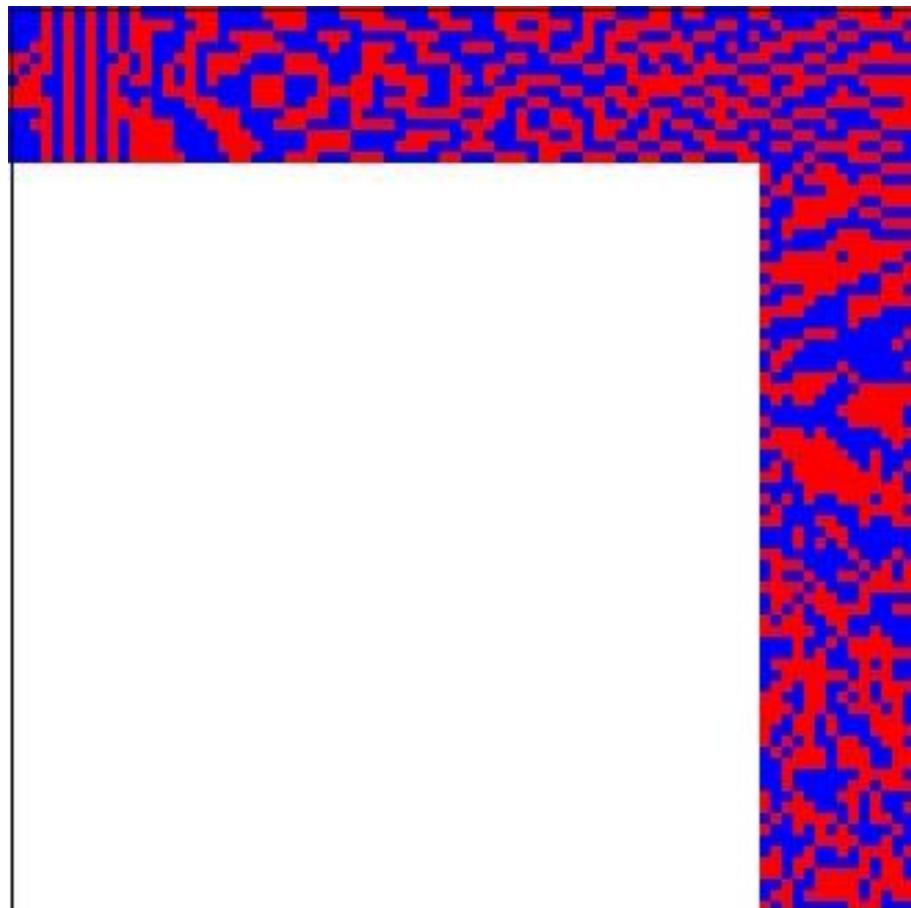


Рис.6

Распространение волны при параметрах:

частота магнитостатического поля 3 ГГц  
угол между полем и волноводом( $\theta_b$ )=0

Видно, что волна не только не проходит во второе плечо, но и практически не распространяется в верхнем плече.

## **Глава 4.**

### **Заключение.**

В ходе дипломной работы выполнены следующие задачи:

1. Теоретическое ознакомление и расчеты частот, при которых волна распространяется во всем волноводе. На основе этих данных проведено компьютерное моделирование.
2. Проведено компьютерное моделирование при различных параметрах внешнего воздействия.

## **Список использованных источников:**

1. Вашковский А.В., Стальмахов В.С., Шараевский Ю.П. "Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот". Саратов 1993
2. O'Keeffe T.W., Patterson R.W. Magnetostatic surface wave propagation in finite samples // Journal of Applied Physics. – 1978. V. 49, No 9. - P. 4886-4895.
3. Kruglyak V.V., Demokritov S.O., Grundler D. Magnonics. Journal of Physics D: Appl. Phys, 2010, V. 43, P. 264001.
4. Никитов С.А., Калябин Д.В., Лисенков И.В. и др. Магноника — новое направление спинtronики и спин-волновой электроники // Успехи физических наук. – 2015. Т. 185, № 10. – С. 1099–1128.