

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра физики открытых систем

**Расчёт дисперсионных характеристик поверхностных
магнитостатических волн при учете неоднородного статического
магнитного поля**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы

направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии»

код и наименование направления

факультета нелинейных процессов

наименование факультета

Пахомова Егора Сергеевича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

А. В. Садовников

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

А.А. Короновский

инициалы, фамилия

Саратов 2020 г.

Введение

Одним из перспективных направлений развития современной радиофизики является исследование радиоволн в композитных магнитных структурах для создания нового поколения функциональных устройств в диапазоне СВЧ. В последние два десятилетия началось интенсивное изучение МСВ после освоения высококачественных пленок ЖИГ, обладающих высокой однородностью параметров и малыми магнитными потерями. В таких пленках МСВ легко возбуждаются практически во всем диапазоне СВЧ (1-60 ГГц) и распространяются на достаточно большие расстояния. На основе МСВ могут быть созданы различные фильтры, антенны и другие устройства, которые могут быть использованы в фазированных решетках, спутниковом телевидении и т.п.

Актуальность темы работы определяется общей тенденцией к миниатюризации функциональных элементов обработки информационных сигналов в СВЧ-диапазоне радиоволн, переходом к микронным и субмикронным пространственным масштабам.

Целью данной работы является расчёт дисперсионных характеристик и распределения потенциала поверхностных магнитостатических волн при учете неоднородного статического магнитного поля.

Работа состоит из введения, трех глав и заключения. Список литературы включает в себя 8 наименований.

Основная часть работы

Был произведен расчёт дисперсионных характеристик и распределения потенциала в волноводе для однородного и неоднородного магнитных полей, их сравнение.

Итак, рассмотрим регулярный ферритовый волновод прямоугольного сечения толщиной d и шириной w , внешнее поле которого имеет постоянную величину $H = 500$ Э. Как известно, в безграничном ферритовом слое внутреннее магнитное поле совпадает с внешним, но, если ограничить волновод в геометрии, то можно убедиться, что внутреннее поле феррита имеет свои особенности. Толщина ферритового волновода была задана и имела значение $d=10$ мкм, а для ширины феррита было выбрано несколько значений $w=20, 100, 200, 300$ мкм.

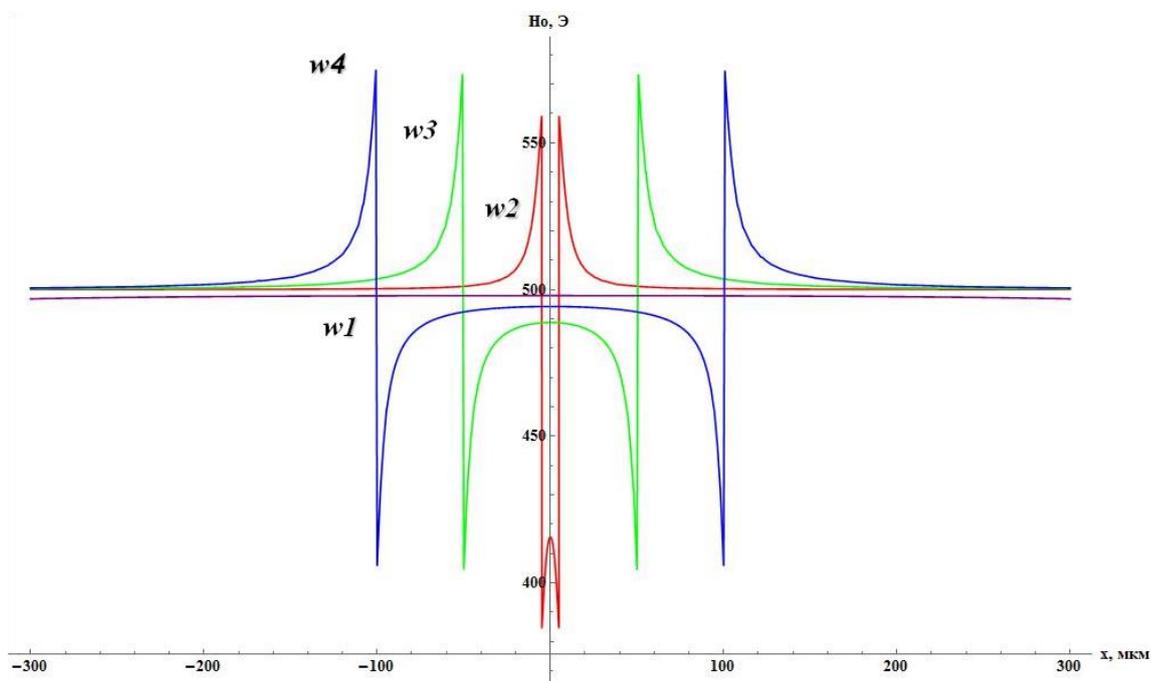


Рисунок 1 - График зависимости внутреннего статического поля ферритового волновода $H_0 = 500$ Э от ширины w .

$$w_1 = 20\text{мкм}, w_2 = 100\text{мкм}, w_3 = 200\text{мкм}, w_4 = 300\text{мкм}$$

На рисунке 1 видно, как изменялось внутреннее статическое магнитное поле ферритового волновода H_0 , в соответствии с изменением ширины. Центр внутреннего магнитного поля ферритовой пластины совпадает с центром внешнего магнитного поля, а на границах видны неоднородности, вследствие взаимодействия двух полей. Чем меньше была ширина волновода, тем больше значение магнитного поля совпадало с внешним, и наоборот.

Если оставить ширину феррита неизменной $w = 200$ мкм, а толщину менять в таких пределах, как $d = 1,5,20$ мкм, то внутреннее поле феррита также будет изменяться в связи с геометрическими изменениями (рисунок 2).

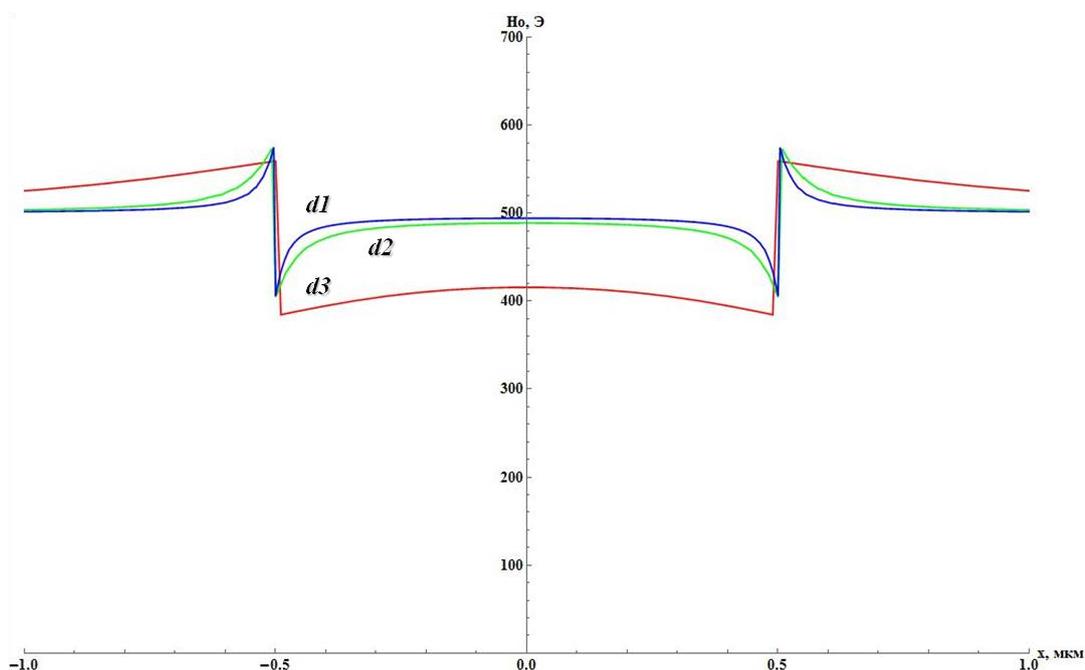


Рисунок 2 - График зависимости внутреннего статического поля ферритового волновода

$H_0 = 500$ Э от толщины d .

$$d_1 = 1 \text{ мкм}, d_2 = 5 \text{ мкм}, d_3 = 20 \text{ мкм}$$

График был отнормирован по величине H_0 и ξ , где $\xi = \frac{W}{d}$ - это соотношение сторон волновода. Разница между изменениями построения хорошо видна между кривыми d_1 и d_3 : чем тоньше ферритовой волновод, тем больше его внутренне магнитное поле совпадает с внешним полем. Центр внутреннего магнитного поля ферритовой плёнки также совпадает с центром

внешнего магнитного поля, а на границах видны неоднородности поля, вследствие взаимодействия двух полей.

На рисунке 3 схематически изображен ферритовый волновод в системе координат (x, y) , его длина W и ширина d , направление внешнего магнитного поля H_0 и волна ν , распространяющиеся перпендикулярно полю H_0 . Центр волновода расположен в начале отсчета системы координат (x, y) .

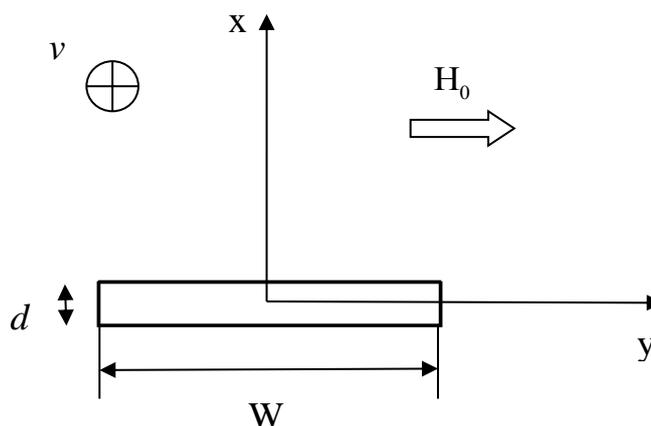


Рисунок 3 - Расчётная схема для поперечно-ограниченного ферритового волновода

Данные для расчёта имели фиксированные значения $H_0 = 500\text{Э}$, $M_0 = 140\text{Э}$. Внешние границы диэлектрического поля были заданы и имели вид: $W_{\text{внеш}} = 500\text{мкм}$, $d_{\text{внеш}} = 500\text{мкм}$, размеры ферритового волновода были равны: $W = 200\text{мкм}$, $d = 10\text{мкм}$.

Расчеты проводились в программе COMSOL Multiphysics. Расчёт производился по таким формулам:

$$\mathbf{H} = -grad\varphi$$

$$\mathbf{B} = \vec{\mu}\mathbf{H}$$

$$div\mathbf{B} = 0$$

$$div\mathbf{H} = 0$$

$$div(\mathbf{H} + 4\pi\mathbf{M}) = 0$$

$$div(\vec{\mu}_x grad\varphi) = 0$$

$$\omega_H = \gamma H_0$$

$$\omega_{\perp} = 2,97 \cdot 10^{-9} \Gamma \zeta$$

Сначала рассмотрим дисперсионную характеристику первых трёх низших мод в феррите, образующихся в феррите с однородным магнитным полем.

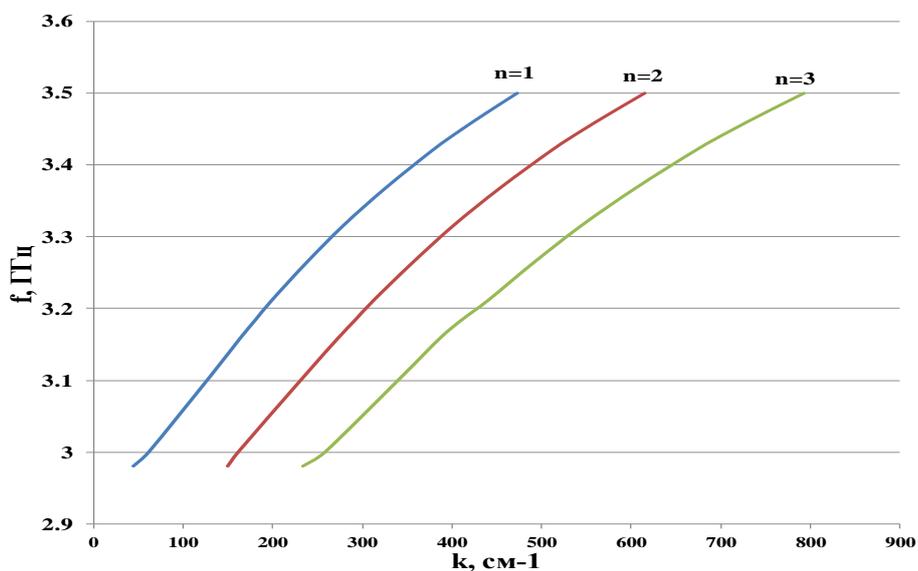


Рисунок 4 - Дисперсионные характеристики 3-х низших мод в поперечно-ограниченном ферритовом волноводе с однородным внутренним магнитным полем

Дисперсионные характеристики 3-х низших мод в поперечно-ограниченном ферритовом волноводе с однородным внутренним

магнитным полем представлены на рисунке 4. Частота начала спектра этих волн равна $\omega_{\perp} = 2,97$ ГГц. Распределения потенциала представлены на рисунке 5. Моды $n=1$ и $n=3$ являются антисимметричными, а мода $n=2$ – симметрична.

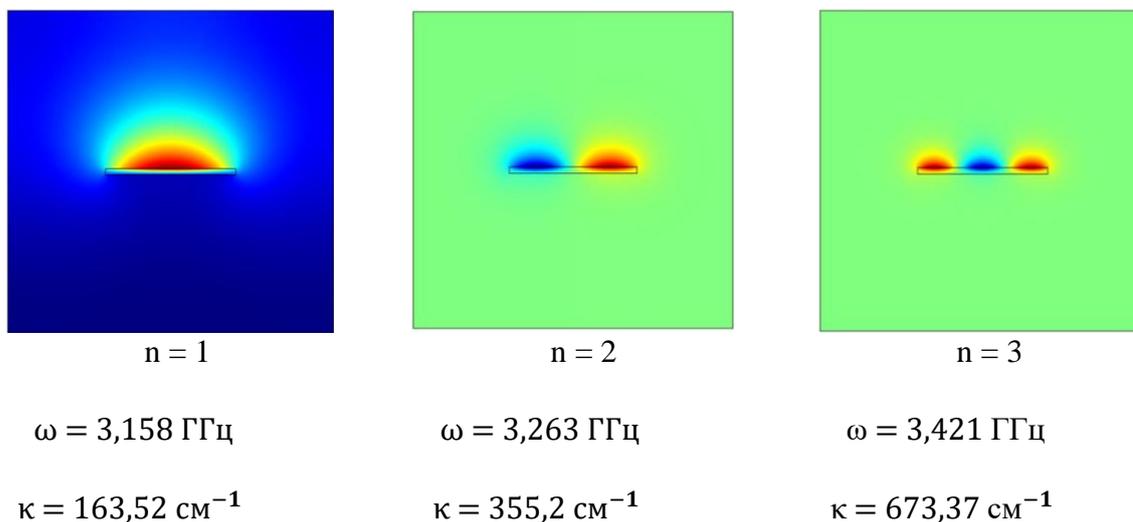


Рисунок 5 - Поперечные сечения распределения потенциала на первых 3-х низших модах при однородном магнитном поле

Если внутреннее поле неоднородно, то граничные условия определяются локальным внутренним полем феррита, и оно меняется от точки к точке. Внутреннее поле будет распределено по закону $H = (H_0 - \Delta h) \cos(\frac{\pi}{2W} x)$. Тогда частота будет рассчитываться по формуле $\omega_H = \gamma(H_0 - \Delta h) \cdot \cos(\frac{\pi}{2W} \cdot x)$, тензор намагниченности будет иметь вид: $\vec{\mu} = 1 + \frac{\omega - \omega_H}{\omega_H^2 - \omega^2}$, а волновое число рассчитывается по следующей формуле: $k = -\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{H_0 \left(\log \left(1 + \frac{4}{\omega_M^2 (\omega_H (\omega_H + \omega_M) - \omega^2)} \right) \right)}$.

На рисунке 6 представлены дисперсионные характеристики 3-х низших мод в неоднородном магнитном поле, а на рисунке 7 – примеры распределения потенциала для различных мод при неоднородном магнитном поле. Видно, что они смещаются в область более коротких волн (т.е. больших k) в сравнении с однородным полем, при меньшей частоте.

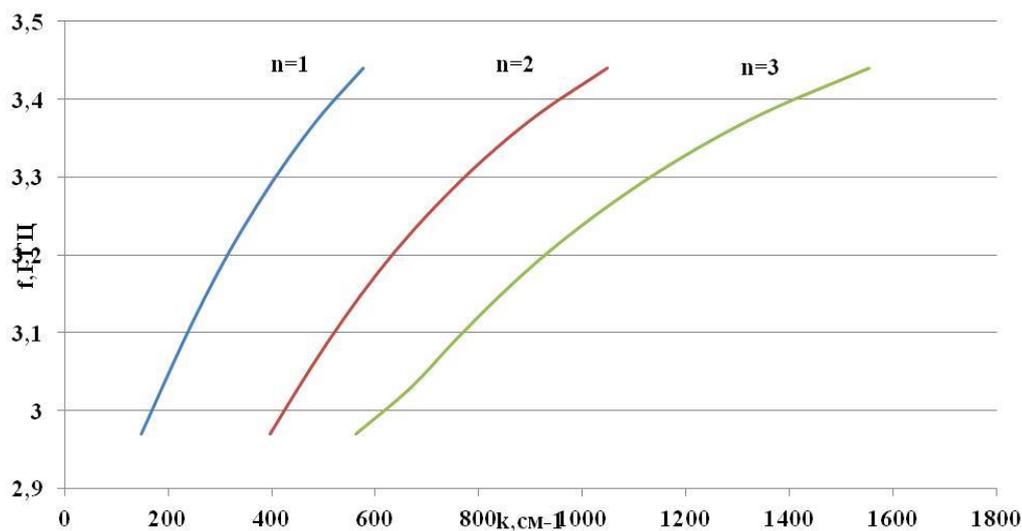


Рисунок 6 - Дисперсионные характеристики 3-х низших мод в поперечно-ограниченном ферритовом волноводе с неоднородным внутренним магнитным полем

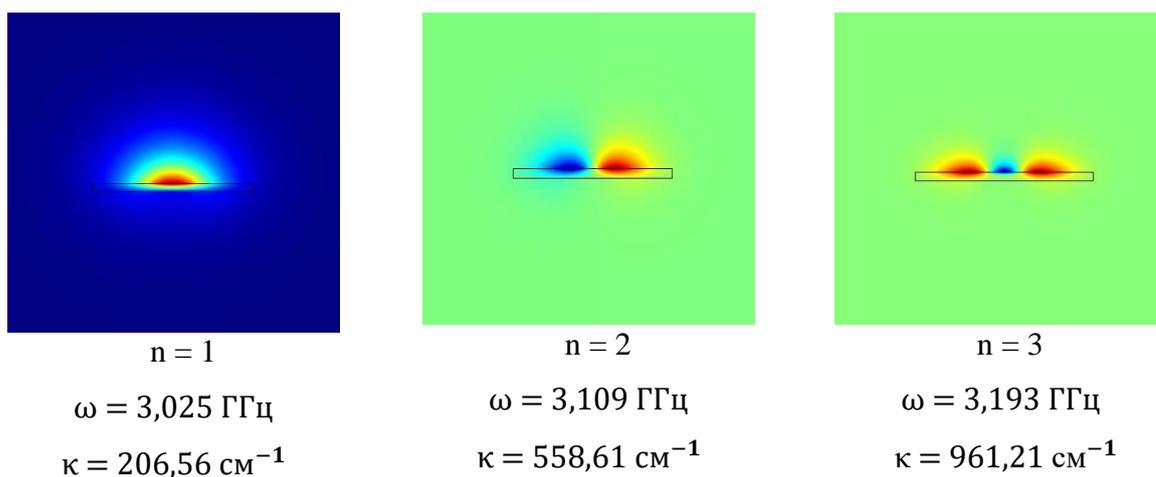


Рисунок 7 - Поперечные сечения распределения потенциала на первых 3-х низших модах при неоднородном магнитном поле при $\Delta h = 10\text{Э}$.

Это подтверждает рисунок 8, на котором представлено сравнение дисперсионных характеристик для однородного и неоднородного случаев. Граничные условия позволяют моделировать поперечное сечение волновода, из чего следует переход к волноводу конечной ширины и появлению ширинных мод, поведение которых зависит от ширины волновода, а также влияют на распространение волн.

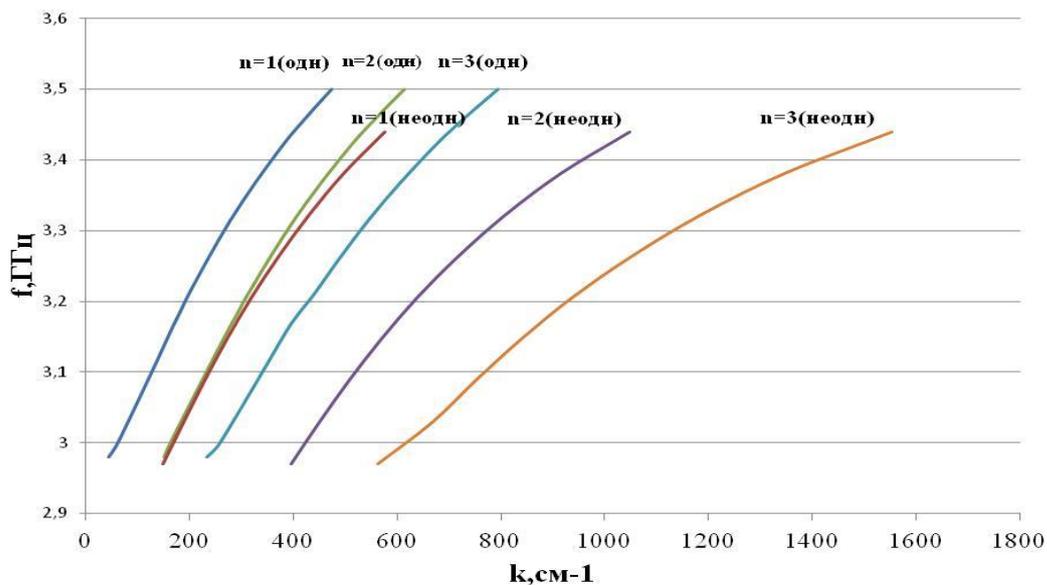


Рисунок 8 - Сравнение дисперсионных характеристик 3-х низших мод в поперечно-ограниченном ферритовом волноводе с однородным и неоднородным внутренним магнитным полем

Рисунок 9 иллюстрирует влияние параметра Δh на дисперсионные характеристики. Параметр Δh описывает разницу между значениями внутреннего и внешнего поля феррита. Видно, что при введении этого параметра кривые смещаются в область меньших частот.

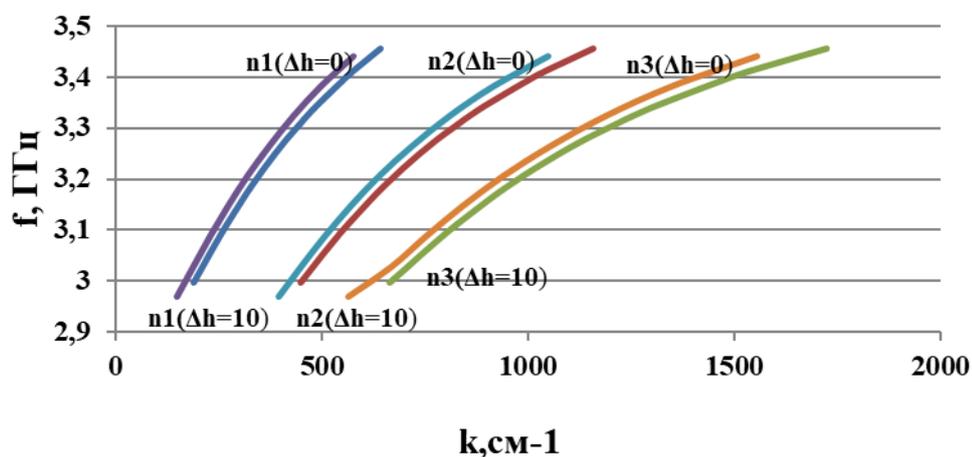


Рисунок 9 - Сравнение дисперсионных характеристик 3-х низших мод при $\Delta h = 0$ и $\Delta h = 10$ Э

Заключение

В ходе выполнения работы было рассмотрено внутреннее статическое однородное поле ферритового поперечно-ограниченного волновода и получены графики зависимости внутреннего поля волновода от ширины W и толщины d . С помощью программы Comsol Multiphysics был выполнен расчёт дисперсионных характеристик 3-х низших мод поверхностных магнитостатических волн в однородном и неоднородном магнитных полях, их сравнение, а также получены поперечные сечения распределение потенциала этих мод.

Основной вывод, который можно сделать из моей работы: при учете неоднородного магнитного поля происходит смещение частотных границ распространения магнитостатических волн, а так же происходит изменение ширины полосы возбуждения магнитостатических волн.

Список используемой литературы

1. Гуревич А.Г. Магнетизм на сверхвысоких частотах. – Соросовский образовательный журнал №1, 1999
2. Вашковский А.В., Стальмахов В.С., Шараевский Ю.П. Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. - Саратов: СГУ, 1993. 34– 312 с.
3. Садовников А. В., Рожнёв А. Г. Моделирование распространения магнитостатических волн в одномерных магнитных кристаллах // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2012. Т. 20, №. 1. С. 143–159.
4. Садовников А. В., Бирюков К. В. Распространение поверхностных магнитостатических латерально связанных ЖИГ-волноводах конечной ширины в присутствии сегнетоэлектрика. 2014
5. Гуревич А.Г., Мелков Г.А. - Магнитные колебания и волны. М.: Физматлит, 1994
6. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. – М.: Радио и связь, 1988
7. Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М.: Физматлит, 1973
8. Белокопытов Г.В. Волны в направляющих структурах. 2008г. 3-4с.