

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

Кафедра электроники, колебаний и волн

**Методы моделирования замедляющих систем ЛБВ миллиметрового
диапазона**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 2 курса 2231 группы
направления 03.04.03 «Радиофизика»
Института Физики
Борисовой Валерии Сергеевны

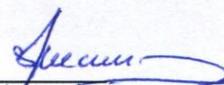
Научный руководитель
доцент кафедры электроники,
колебаний и волн, к.ф.-м.н.

01.06.24 

дата, подпись

А.В. Титов

Заведующий кафедрой
электроники, колебаний и волн
к.ф.-м.н., доцент

01.06.2024г. 

дата, подпись

С.В. Гришин

Саратов 2024 год

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Обзор.....	4
1.1 Замедляющая система типа «спираль».....	4
1.2 Замедляющая система типа «скрещенная лестница».....	4
1.3 Замедляющая система типа «скрещенная лестница» с втулочными диафрагмами.....	5
1.4 Замедляющая система типа «цепочка связанных резонаторов».....	5
1.5 Замедляющая система типа «петляющий волновод».....	6
1.6 Замедляющая система типа «меандр».....	6
1.7 Выводы ко второй главе.....	6
Глава 2. Моделирование и расчет в Ansys Hfss.....	7
2.1 Описание программного пакета.....	7
2.2 Построение модели ЗС типа «скрещенная лестница».....	7
2.3 Построение многолучевой модели ЗС типа «скрещенная лестница» для миллиметрового диапазона.....	9
2.4 Построение однолучевой модели ЗС типа «скрещенная лестница» для миллиметрового диапазона.....	10
2.5 Выводы ко второй главе.....	12
Заключение.....	13
Список используемой литературы.....	14

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время происходит интенсивный процесс освоения миллиметрового диапазона длин волн. Электровакуумные усилители миллиметрового диапазона превосходят твердотельные по уровню выходной мощности, радиационной стойкости, стоимости ватта мощности, широкополосности и помехозащищенности. Наиболее перспективными усилителями миллиметрового диапазона длин волн являются клистроны и лампы бегущей волны.

Продвижение в коротковолновую часть миллиметрового диапазона в значительной мере связано с поиском и реализацией эффективных конструкций замедляющих систем. В связи с мелкой структурой элементов замедляющих систем требуется разработка новых технологий и материалов для их реализации в мощных широкополосных ЛБВ миллиметрового диапазона.

К настоящему времени среди выпускаемых ЛБВ определилось несколько классов по типу замедляющих систем (ЗС): «спиральные» ЛБВ, с ЗС типа «скрещенная лестница», ЗС типа «скрещенная лестница с втулочными диафрагмами», ЛБВ на «цепочке связанных резонаторов», с ЗС типа «петляющий волновод» и с ЗС типа «меандр».

Цель работы:

Расчет характеристик многолучевой и однолучевой ЗС типа «скрещенная лестница» для ЛБВ миллиметрового диапазона длин волн.

ГЛАВА 1. ОБЗОР

1.1 Замедляющая система типа «спираль»

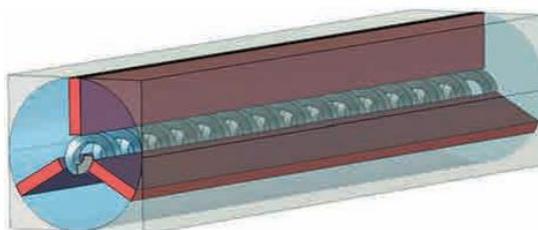


Рис. 1. Общий вид модели спиральной замедляющей системы [1].

Авторы проанализировали спиральные ЛБВ, которые способны обеспечить большую полосу рабочих частот [1]. Большим недостатком спиральных ламп является ограничение теплоотвода от спирали. Это связано с тем, что теплопроводность диэлектрических опор ограничена. С ростом температуры теплопроводность окиси бериллия падает.

1.2 Замедляющая система типа «скрещенная лестница»

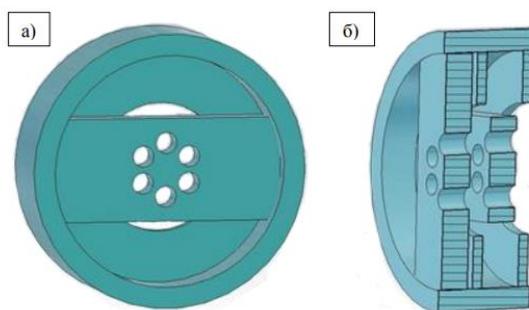


Рис. 2. Вид спереди (а) и разрез одного периода (б) замедляющей системы типа «скрещенная лестница» [2].

С целью существенного снижения питающего напряжения лампы и плотности тока на катоде авторы [2] предложили многолучевую конструкцию ЗС для мощной миниатюрной ЛБВ типа «скрещенная лестница» в миллиметровом диапазоне.

В данной конструкции увеличение сопротивления связи возможно за счет введения колец, выполняющих компрессию электромагнитного поля в области рабочего зазора. Поэтому преимущества данной системы: высокое сопротивление связи и простота в подборе необходимой дисперсионной характеристики. Сборка замедляющей системы заключается с чередованием 25 диафрагм и 26 колец и последующей их компрессионной пайкой. При такой технологии сборки системы

отсутствие полировки деталей и большое количество паяных швов могут быть причиной больших потерь в системе.

1.3 Замедляющая система типа «скрещенная лестница» с втулочными диафрагмами



Рис. 3. Один период замедляющей системы типа «двойная лестница» с втулками [2].

Замедляющая система типа «двойная лестница» с втулочными диафрагмами используется для увеличения сопротивления связи, а токопрохождение потока в режиме большого сигнала остается 100%.

1.4 Замедляющая система типа «цепочка связанных резонаторов»



Рис. 4. Один период замедляющей системы типа «цепочка связанных резонаторов» [3].

Необходимость расширения полосы частот и целенаправленные усилия по повышению токопрохождения привели к качественным изменениям конструкции замедляющей системы типа «цепочка связанных резонаторов». Для выравнивания амплитудно-частотной характеристики введено профилирование шага системы. Для обеспечения 100% токопрохождения в приборе потребовалось увеличить радиус пролетного канала в выходной секции лампы.

1.5 Замедляющая система типа «петляющий волновод»

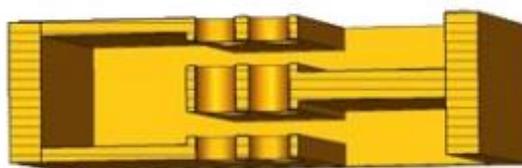


Рис. 5. Один период замедляющей системы типа «петляющий волновод» [2].

ЗС типа «петляющий волновод» имеет меньшее затухание и меньшее количество паяных швов. При этом в системе типа «петляющий волновод» теоретические потери ниже, а деталей – 5 штук.

1.6 Замедляющая система типа «меандр»

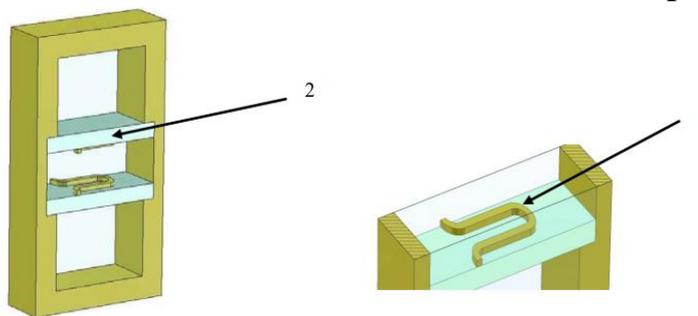


Рис. 6. Один период замедляющей системы типа «меандр»:

1 - металлизированный меандр, 2 - алмазная подложка [4].

Данная система обеспечивает широкую полосу рабочих частот, повышенное значение сопротивления связи, и необходимую дисперсионную характеристику. Конструкцией замедляющей системы предполагается использование ленточного электронного потока. Транспортировка ленточных пучков затруднена из-за S-образного загиба краев ленты в процессе его движения к коллектору в однородном продольном магнитном поле. Для уменьшения данного эффекта используют большие амплитуды магнитного поля, что в свою очередь существенно увеличивает массогабаритные параметры лампы.

1.7 Выводы к первой главе

В данном обзоре представлены тенденции развития ЛБВ миллиметрового диапазона длин волн. В связи с малыми размерами элементов замедляющих систем требуется разработка новых технологий и материалов для их реализации в мощных

широкополосных ЛБВ с высоким уровнем выходной мощности. Представленные материалы и технологии изготовления ЗС предоставляют выбор конструкций систем для создания эффективных широкополосных ЛБВ – усилителей коротковолновой части миллиметрового диапазона.

ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ В ANSYS HFSS

2.1 Описание программного пакета

ANSYS HFSS (High Frequency Structural Simulator) – мощнейший программный пакет, который позволяет моделировать трехмерные объекты и анализировать их электродинамические характеристики. HFSS использует для решения метод конечных элементов.

Основные этапы работы:

- 1) Задание типа решателя программы.
- 2) Построение трехмерного объекта на основе геометрических примитивов.
- 3) Задание свойств материалов объекта.
- 4) Задание граничных условий для объекта.
- 5) Задание начальных установок решения.
- 6) Расчет построенной модели.
- 7) Обработка результатов.

2.2 Построение модели ЗС типа «скрещенная лестница»

Ранее была построена ЗС типа «скрещенная лестница», взятая из [2]. Параметры модели были подобраны таким образом, чтобы попасть в нужный миллиметровый диапазон, составляющий 42,5 ГГц.

При построении были заданы следующие параметры:

Период между элементами ЗС – 0,2 мм

Длина пластинок – 8 мм

Ширина пластинок – 5,1 мм

Толщина пластинок – 0,2 мм

Радиус пролетного канала – 0,5 мм

Радиус экрана – 5 мм

Высота экрана – 1,6 мм

Радиус колец – 4 мм

Толщина колец – 0,2 мм

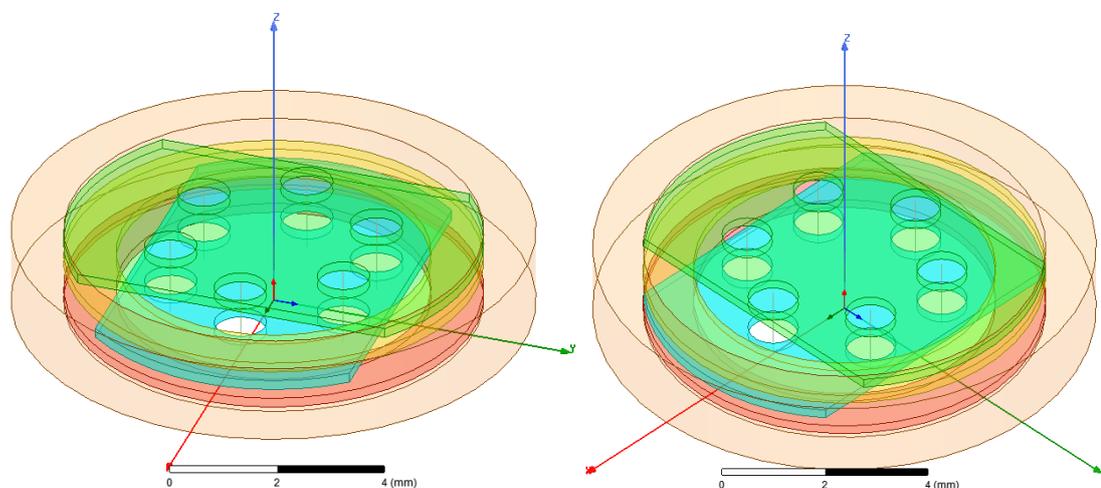


Рис. 7. Полученная модель ЗС типа «скрещенная лестница» одного периода.

Для данной ЗС была получена дисперсионная характеристика.

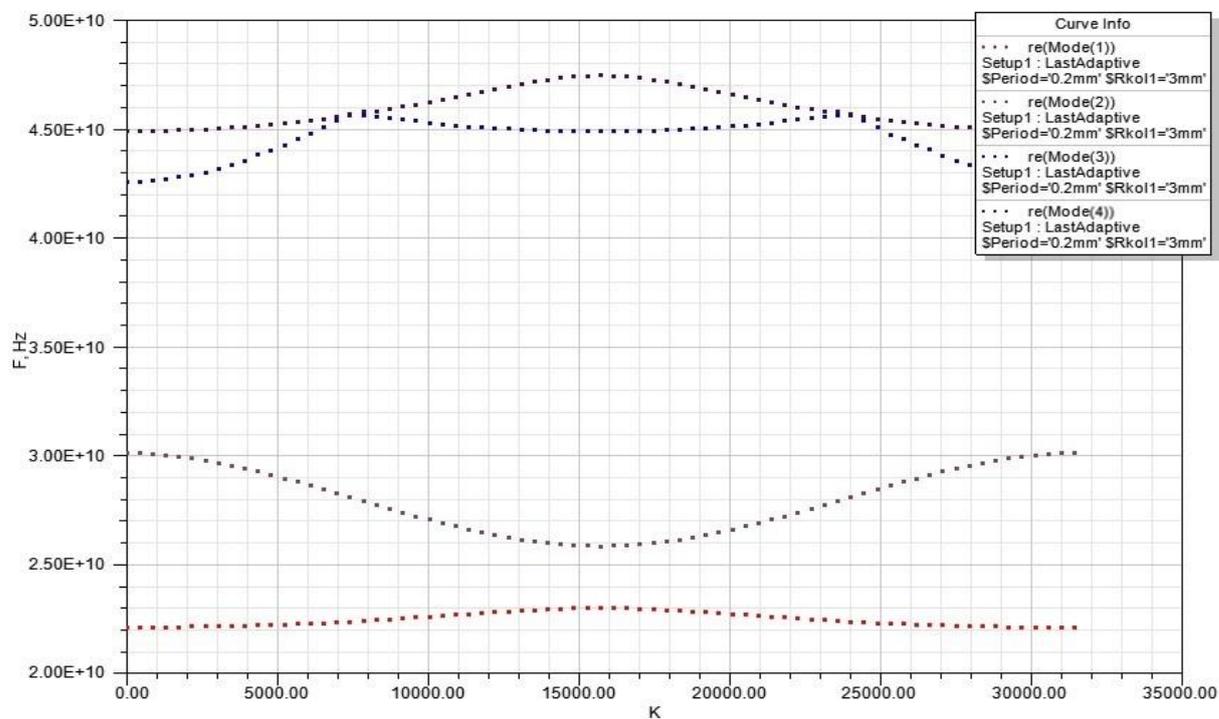


Рис. 8. Дисперсионная характеристика ЗС типа «скрещенная лестница».

На основе полученных данных были построены однолучевая и многолучевая ЗС типа «скрещенная лестница» с параметрами, предоставляющими возможность продвижения в миллиметровый диапазон длин волн.

2.3 Построение многолучевой модели ЗС типа «скрещенная лестница» для миллиметрового диапазона

Сначала будет рассмотрена многолучевая ЗС.

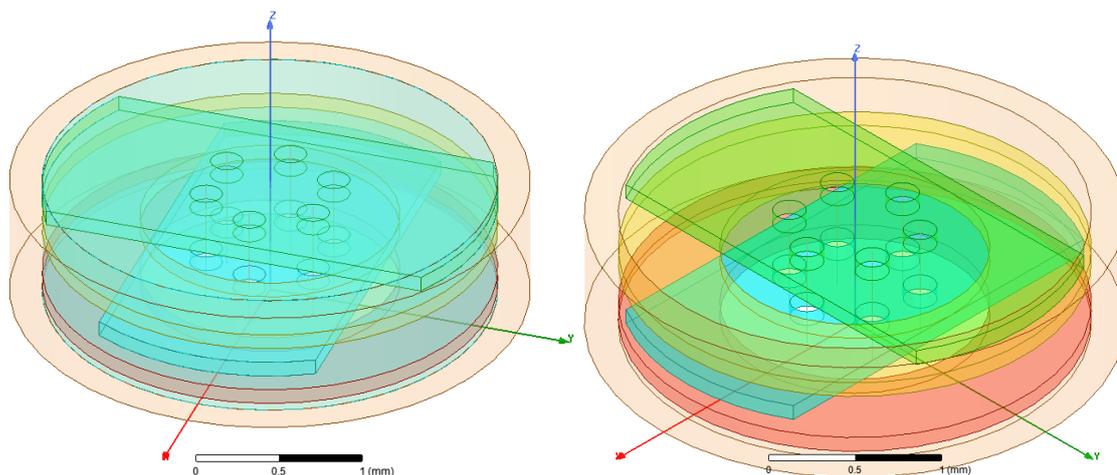


Рис. 9. Полученная модель ЗС типа «скрещенная лестница» одного периода.

При построении были заданы следующие параметры:

Период между элементами ЗС – 0,1 мм

Длина пластинок – 2,8 мм

Ширина пластинок – 1,4 мм

Толщина пластинок – 0,1 мм

Радиус пролетного канала – 0,1 мм

Радиус экрана – 1,6 мм

Высота экрана – 0,8 мм

Радиус колец – 1,4 мм

Толщина колец – 0,1 мм

После проведения параметрического анализа создается графический отчет по найденным модам.

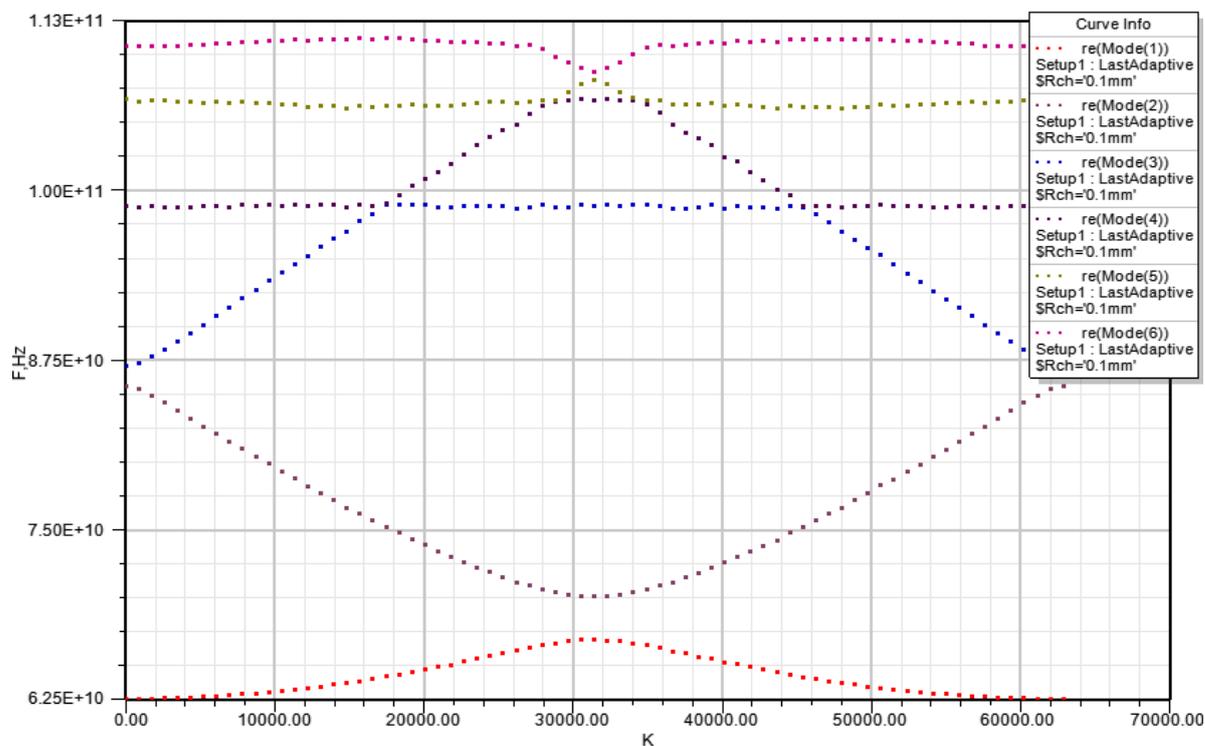


Рис. 10. Дисперсионная характеристика ЗС типа «скрещенная лестница».

2.4 Построение однолучевой модели ЗС типа «скрещенная лестница» для миллиметрового диапазона

Также представлена однолучевая ЗС типа «скрещенная лестница» при тех же параметрах элементов:

Период между элементами ЗС – 0,1 мм

Длина пластинок – 2,8 мм

Ширина пластинок – 1,4 мм

Толщина пластинок – 0,1 мм

Радиус пролетного канала – 0,1 мм

Радиус экрана – 1,6 мм

Высота экрана – 0,8 мм

Радиус колец – 1,4 мм

Толщина колец – 0,1 мм

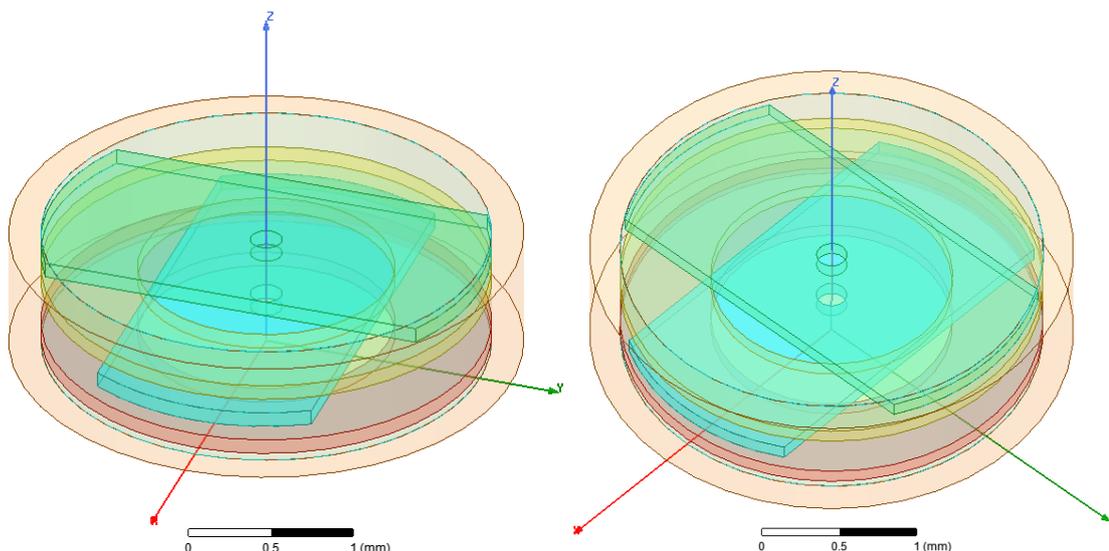


Рис. 11. Полученная модель ЗС типа «скрещенная лестница» одного периода.

Начальные установки для решения и параметрика были заданы те же, что и для многолучевой системы.

После проведения параметрического анализа создается графический отчет по найденным модам. На Рис. 47 представлена дисперсионная характеристика для однолучевой ЗС типа «скрещенная лестница».

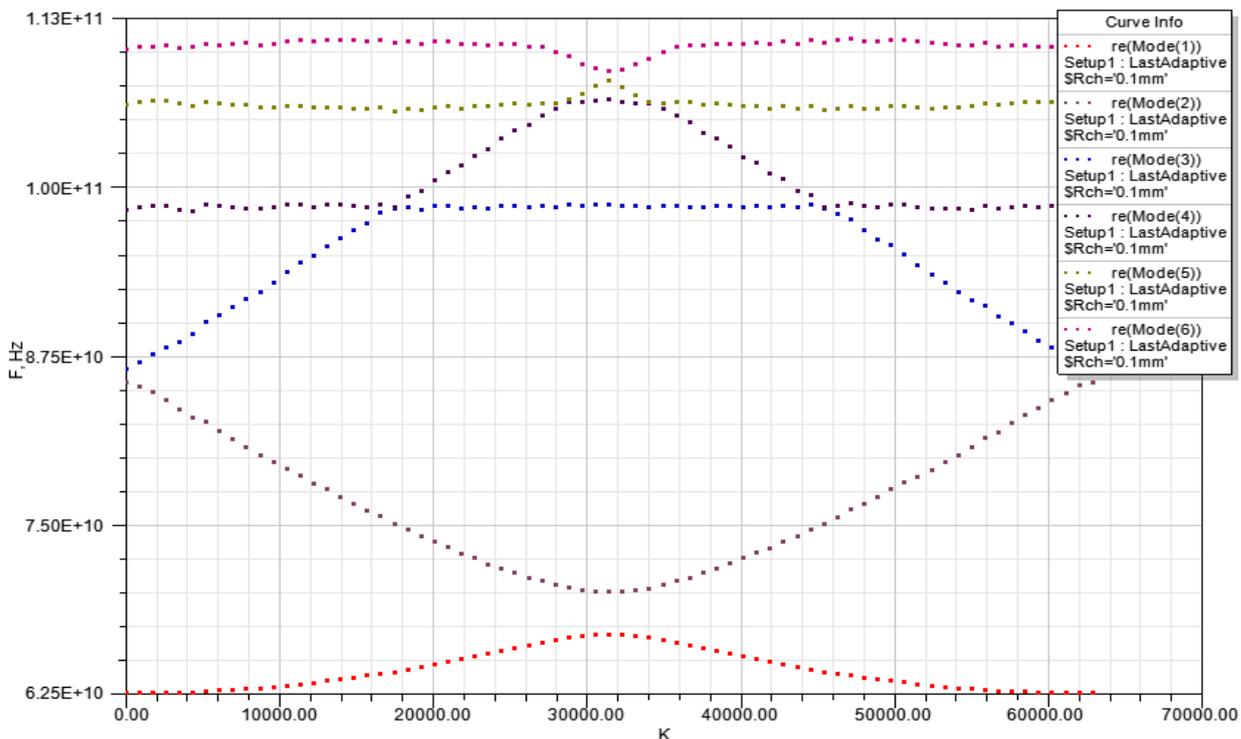


Рис. 12. Дисперсионная характеристика ЗС типа «скрещенная лестница».

Из полученного графика видно, что моды однолучевой ЗС типа «скрещенная лестница» при заданных параметрах находятся в миллиметровом диапазоне длин волн.

2.5 Выводы ко второй главе

В данной главе приведена методика моделирования многолучевой и однолучевой ЗС типа «скрещенная лестница» в программном пакете ANSYS HFSS, получение дисперсионных характеристик и их сравнение.

Из полученных графиков видно, что моды ЗС типа «скрещенная лестница» при заданных параметрах могут обеспечить работу в миллиметровом диапазоне длин волн. Дисперсионные характеристики для однолучевой и многолучевой ЗС практически не отличаются.

Построенные модели ЗС типа «скрещенная лестница» являются масштабируемыми, позволяющие за счет параметрически связанных характеристик быстро оптимизировать их под необходимые задачи. Подобные параметрически связанные модели резко увеличивают скорость получения расчетных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе проведен расчет характеристик многолучевой и однолучевой ЗС типа «скрещенная лестница» в миллиметровом диапазоне длин волн. На основе изученных данных в программном пакете ANSYS HFSS была создана методика моделирования многолучевой и однолучевой ЗС типа «скрещенная лестница». В ходе проведенного исследования были получены диаграммы Бриллюэна.

На основе разработанной методики построены масштабируемые модели ЗС типа «скрещенная лестница», позволяющие за счет параметрически связанных характеристик быстро оптимизировать их под необходимые задачи. Подобные параметрически связанные модели резко увеличивают скорость получения расчетных данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 – Богомолова Е.А., Галдецкий А.В., Рувинский Г.В., Солдатенко И.Г. ЛБВ миллиметрового и терагерцового диапазонов: особенности конструкций замедляющих систем и технологий изготовления // Электронная техника. Серия 1: СВЧ-техника. 2020. № 3 (546). С. 66-83.

2 – Ракова Е.А., Галдецкий А.В. Многолучевая «прозрачная» ЛБВ миллиметрового диапазона // Электронная техника. Серия 1: СВЧ-техника. 2015. № 1 (524). С. 54-67.

3 – Галдецкий, А. В. Исследование и оптимизация замедляющей системы на цепочке связанных резонаторов для ЛБВ W-диапазона / А. В. Галдецкий, Е. А. Богомолова, Н. М. Коломийцева // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. – 2019. – Вып. 3 (542). – С. 29 – 35.

4 – Ракова Е.А., Галдецкий А.В., Корепин Г.Ф., Смирнов В.А., Зубков Н.П., Лябин Н.А., Парамонов В.С., Дерябкин А.В., Куликов Е.Н., Духновский М.П. Проектирование и исследование технологии изготовления перспективной замедляющей системы для ЛБВ W-диапазона // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2016. Т. 1. С. 148-152.