

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра электроники, колебаний и волн

**Анализ современных конструкций замедляющих систем ЛБВ
коротковолновой области СВЧ диапазона**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 4031 группы

направления 03.03.03 – «Радиофизика»

института физики

Борисовой Валерии Сергеевны

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

 06.06.22

Титов А.В.

подпись, дата

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

 06.06.22г. Гришин С.В.

подпись, дата

Саратов 2022 г.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время происходит интенсивный процесс освоения миллиметрового диапазона частот. Электровакуумные усилители миллиметрового диапазона превосходят твердотельные по уровню выходной мощности, радиационной стойкости, стоимости ватта мощности, широкополосности и помехозащищенности.

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.

Цель работы:

- 1) Знакомство со статьями и анализ особенности каждой замедляющей системы при использовании в миллиметровом диапазоне, их отличия, преимущества и недостатки.
- 2) Выбор ряда замедляющих систем, которые необходимо промоделировать и получить их расчетные характеристики.
- 3) Освоение программного продукта ANSYS HFSS.
- 4) Расчет ЗС типа «спираль» и «скрещенная лестница» и получение их дисперсионных характеристик.

К настоящему времени среди выпускаемых ЛБВ определилось несколько классов по типу замедляющих систем: «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».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Замедляющая система типа «спираль»

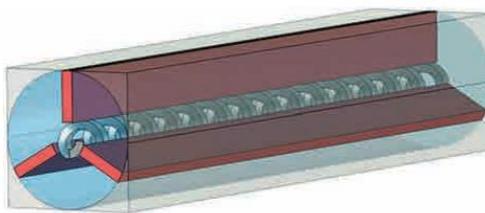


Рис. 1. Общий вид модели спиральной замедляющей системы [2].

Авторы проанализировали спиральные ЛБВ, которые способны обеспечить большую полосу рабочих частот [2]. 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.

Замедляющая система типа «скрещенная лестница»

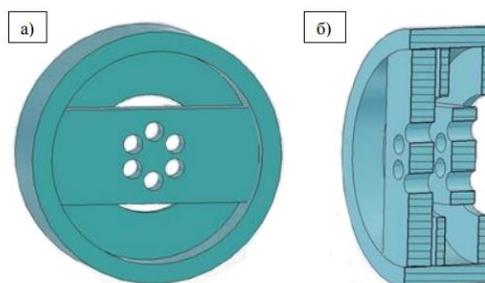


Рисунок 2. Вид спереди (а) и разрез одного периода (б) замедляющей системы типа «скрещенная лестница» [1].

С целью существенного снижения питающего напряжения лампы и плотности тока на катоде авторы [10] 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.

Замедляющая система типа «скрещенная лестница» с втулочными диафрагмами



Рисунок 3. Один период замедляющей системы типа «сдвоенная лестница» с втулками [1].

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

Замедляющая система типа «цепочка связанных резонаторов»



Рисунок 4. Один период замедляющей системы типа «цепочка связанных резонаторов» [2].

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.

Замедляющая система типа «петляющий волновод»



Рисунок 5. Один период замедляющей системы типа «петляющий волновод» [1].

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.

Замедляющая система типа «меандр»

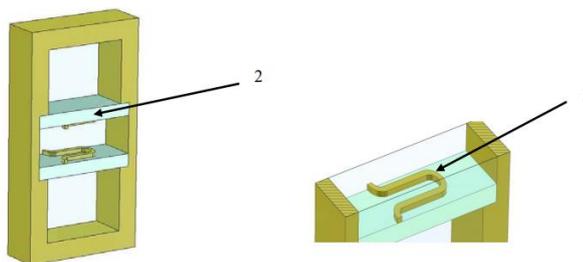


Рисунок 6. Один период замедляющей системы типа «меандр»:

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

Данная система обеспечивает широкую полосу рабочих частот и 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.

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.

Моделирование

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.

Сначала была построена ЗС типа «спираль», взятая из [2].

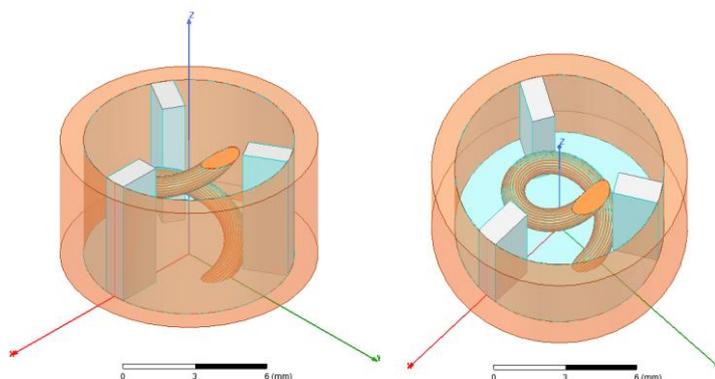


Рисунок 7. Полученная модель ЗС типа «спираль» одного периода.

При построении были заданы следующие параметры:

- Радиус спирали – 0,5 мм
- Шаг спирали – 6 мм
- Высота стержней – 2 мм
- Ширина стержней – 1 мм
- Радиус экрана – 5,5 мм
- Радиус пролетного канала – 4,5 мм

После проведения параметрического анализа создается графический отчет по

найденным модам.

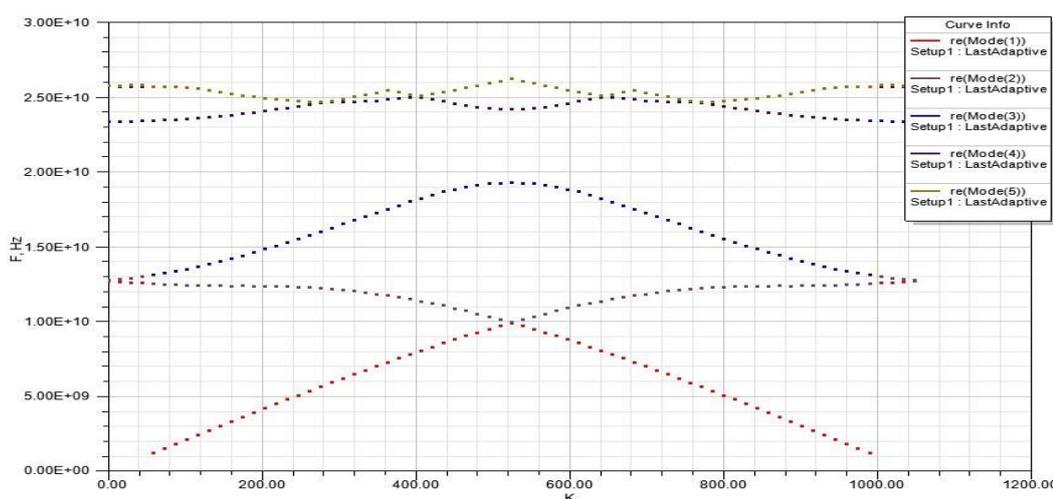


Рисунок 8. Дисперсионная характеристика ЗС типа «спираль».

В данной главе приведена методика моделирования спиральной замедляющей системы в программном пакете ANSYS HFSS и получение ее дисперсионных характеристик. Результаты справедливы, что позволяет говорить о правильной методике решения задач на собственные моды.

Второй вариант модели был взят из [1] – ЗС типа «скрещенная лестница».

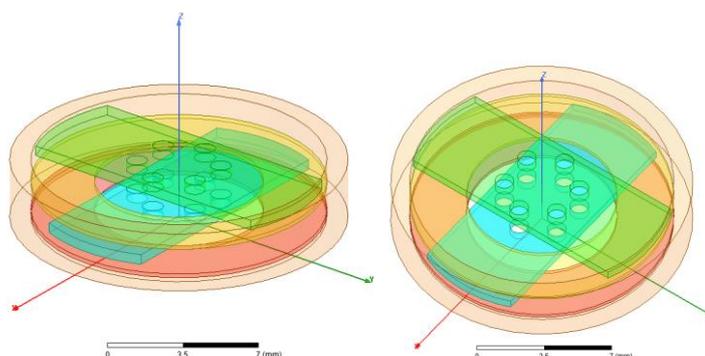


Рисунок 9. Полученная модель ЗС типа «скрещенная лестница» одного периода.

Меняя расстояние между элементами ЗС (период), было проведено сравнение дисперсионных характеристик.

При построении были заданы следующие параметры:

Период между элементами ЗС – 0,4 мм

Длина пластинок – 14 мм

Ширина пластинок – 5,5 мм

Толщина пластинок – 0,5 мм
 Радиус канала – 0,5 мм
 Радиус экрана – 8 мм
 Длина экрана – 3 мм
 Радиус канала – 7 мм
 Длина канала – 3 мм
 Радиус колец – 7 мм
 Толщина колец – 0,2 мм

После проведения параметрического анализа создается графический отчет по найденным модам.

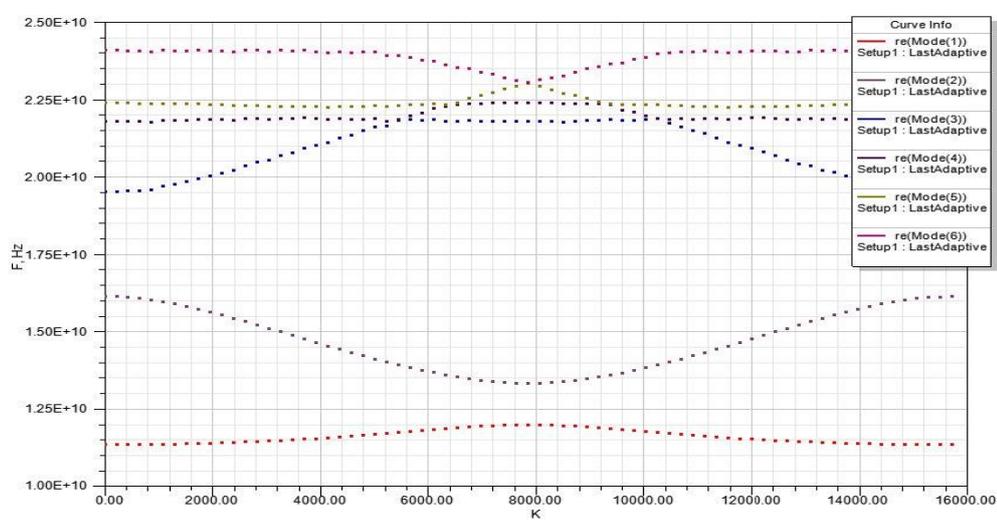


Рисунок 10. Дисперсионная характеристика ЗС типа «скрещенная лестница».

Представлена ЗС типа «скрещенная лестница» при тех же параметрах элементов и с периодом между ними, составляющим 0,7 мм.

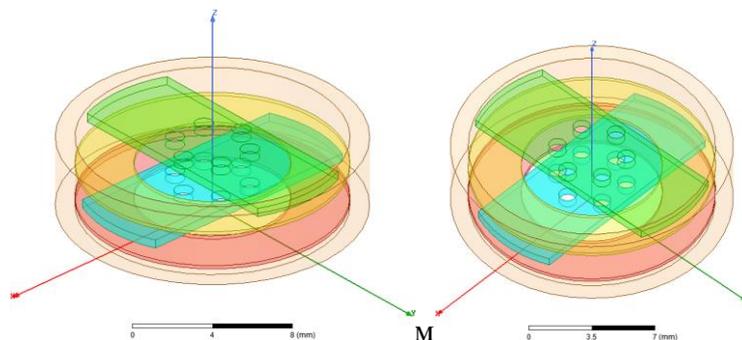


Рисунок 11. Полученная модель ЗС типа «скрещенная лестница» одного периода.

Полученная дисперсионная характеристика.

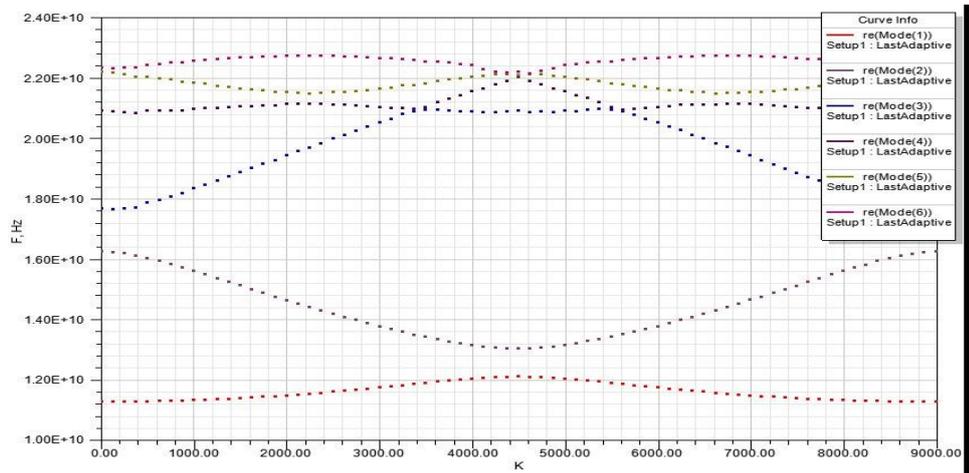


Рисунок 12. Дисперсионная характеристика ЗС типа «скрещенная лестница».

ЗС типа «скрещенная лестница» с периодом между элементами ЗС, составляющим 1 мм.

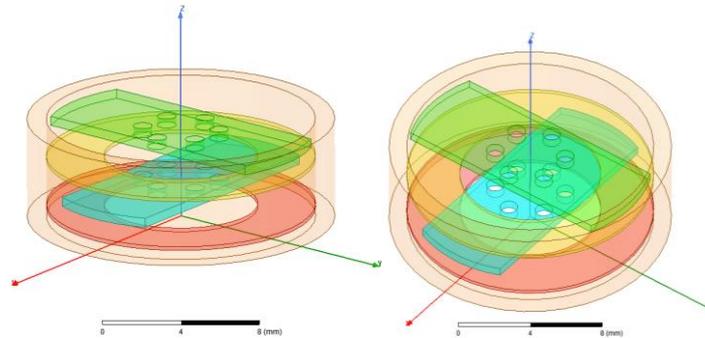


Рисунок 13. ЗС типа «скрещенная лестница» одного периода.

Полученная дисперсионная характеристика.

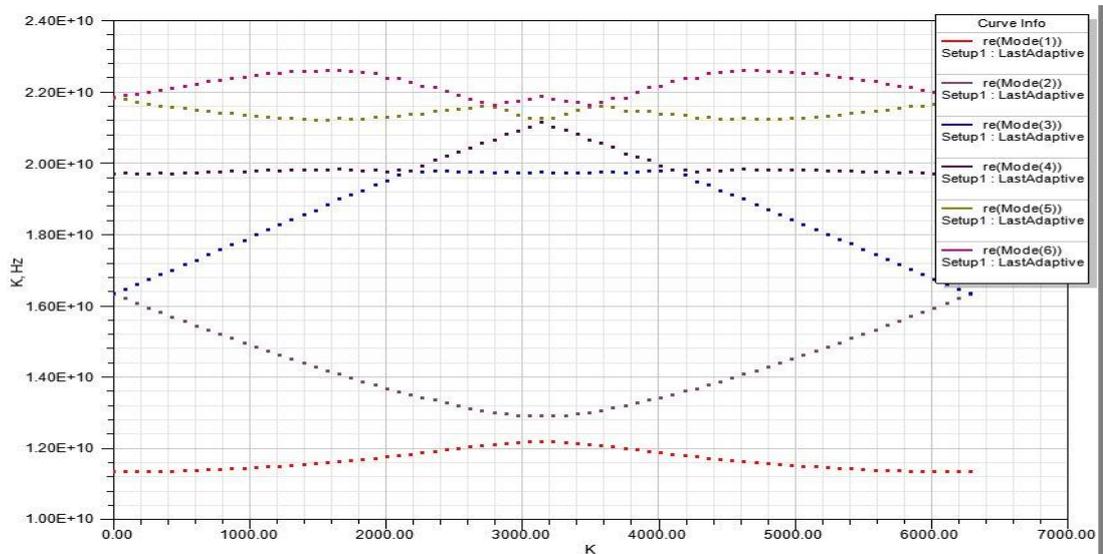


Рисунок 14. Дисперсионная характеристика ЗС типа «скрещенная лестница».

ЗС типа «скрещенная лестница» с периодом между элементами ЗС, составляющим 1,3 мм.

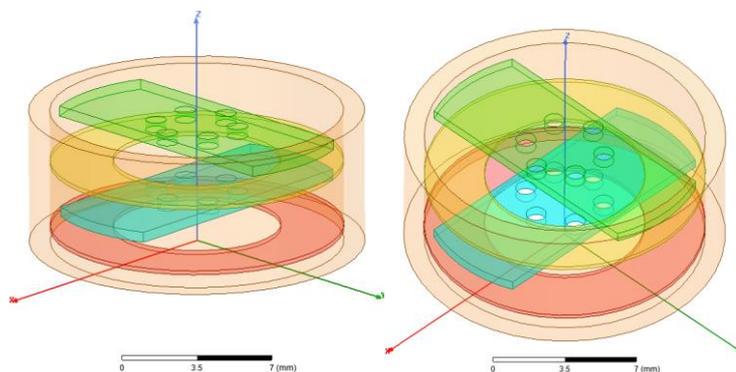


Рисунок 15. ЗС типа «скрещенная лестница» одного периода.

Полученная дисперсионная характеристика.

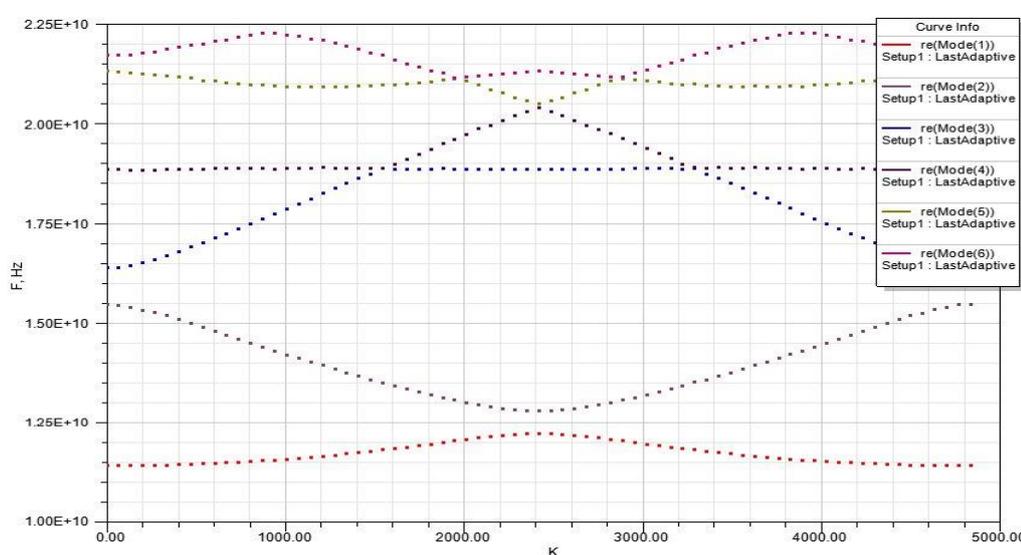


Рисунок 16. Дисперсионная характеристика ЗС типа «скрещенная лестница».

ЗС типа «скрещенная лестница» с периодом между элементами ЗС, составляющим 1,6 мм.

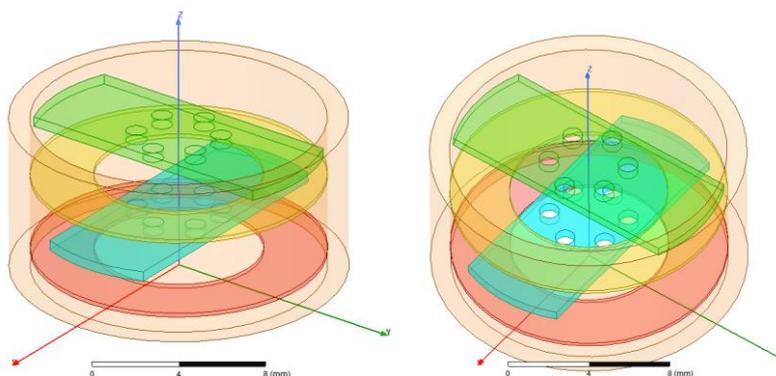


Рисунок 17. ЗС типа «скрещенная лестница» одного периода.

Полученная дисперсионная характеристика.

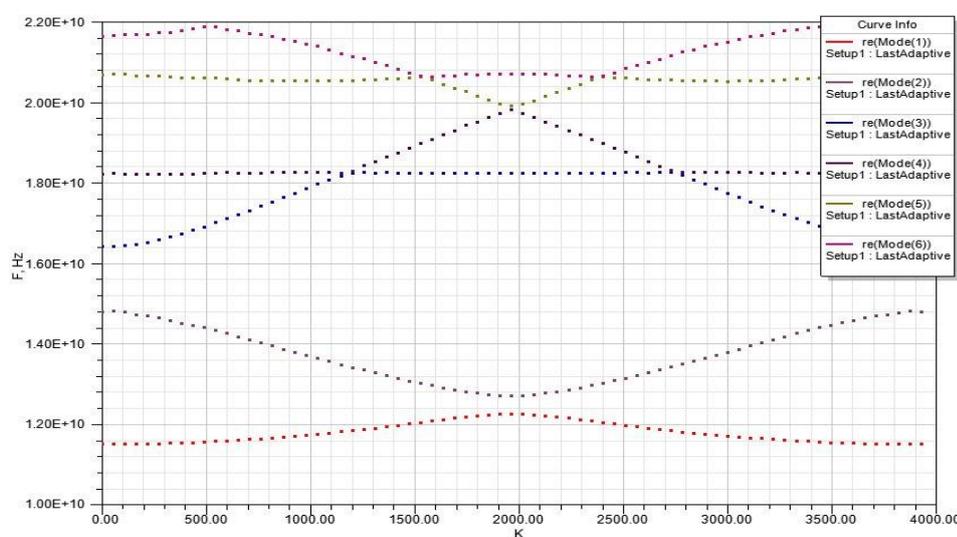


Рисунок 18. Дисперсионная характеристика ЗС типа «скрещенная лестница».

В данной главе приведена методика моделирования замедляющей системы типа «скрещенная лестница» в программном пакете ANSYS HFSS, получение ее дисперсионных характеристик и их сравнение. На основе данной методики построена масштабируемая модель замедляющей системы типа «скрещенная лестница», позволяющая за счет параметрически связанных характеристик быстро оптимизировать её под необходимые задачи. Подобные параметрически связанные модели резко увеличивают скорость получения расчетных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведен краткий обзор статей, посвященных ЛБВ с различными типами и конструкциями ЗС. Данный обзор потребовался для изучения и анализа особенностей каждой ЗС при использовании в миллиметровом диапазоне частот с целью дальнейшего выбора ряда систем для моделирования.

В данной работе проведен анализ ЗС типа «спираль» и «скрещенная лестница» в миллиметровом диапазоне частот. На основе изученных данных в программном пакете ANSYS HFSS была создана методика моделирования ЗС типа «спираль» и «скрещенная лестница», а также их дисперсионных характеристик. В ходе проведенного исследования были получены диаграммы Бриллюэна для спиральной ЗС и ЗС типа «скрещенная лестница», период между элементами которой менялся от 0,4 мм до 1,6 мм с шагом 0,3 мм.

На основе разработанной методики построена масштабируемая модель замедляющей системы типа «скрещенная лестница», позволяющая за счет параметрически связанных характеристик быстро оптимизировать её под необходимые задачи. Подобные параметрически связанные модели резко увеличивают скорость получения расчетных данных.

Список используемой литературы

- 1) Ракова Е.А., Галдецкий А.В. Многолучевая «прозрачная» ЛБВ миллиметрового диапазона // Электронная техника. Серия 1: СВЧ-техника. 2015. № 1 (524). С. 54-67.
- 2) 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.
- 3) Е. А. Богомолова, А. В. Галдецкий, Н. М. Коломийцева. Исследование и оптимизация замедляющей системы на цепочке связанных резонаторов для ЛБВ W-диапазона.
- 4) Галдецкий А.В., Лопин М.И., Грицук Р.В., Рыжов В.А., Мишкин Т.А., Духина Н.Г., Закурдаев А.Д., Сапрынская Л.А. Мощный электровакуумный усилитель метрового диапазона // Электронная техника. Серия 1: СВЧ-техника. 2017. № 2 (533). С. 29-48.
- 5) Галдецкий А.В., Богомолова Е.А. Проектирование широкополосной замедляющей системы для мощной ЛБВ X-диапазона // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2019. Т. 1. № 1. С. 98-101.
- 6) Галдецкий А.В., Богомолова Е.А., Натура И.П., Соколова И.М., Сапрынская Л.А. Проектирование лампы бегущей волны W-диапазона // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2017. Т. 1. С. 300-306.
- 7) 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.
- 8) Коломийцева Н.М., Бакунин Г.В., Полянская Т.И., Паницков В.И., Филин Ю.Ю. Проектирование замедляющей системы типа «петляющий волновод» для разработки промышленной базовой технологии изготовления ЛБВ в W диапазоне.
- 9) Б.А. Белявский, В.А. Бородин, А.Ф. Носовец. Мощные импульсные ЛБВ миллиметрового диапазона.
- 10) Бакунин, Г. В. Многолучевая «прозрачная» ЛБВ миллиметрового диапазона / Г. В. Бакунин, А. А. Батраков, А. В. Галдецкий и др. // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. – 2015. – Вып. 1 (524). – С. 54 – 67.