

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

Кафедра основ проектирования приборов СВЧ.

наименование кафедры

**Проектирование ЛБВ космического применения миллиметрового
диапазона с частотой 45ГГц и выходной мощностью 80 Ватт.**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 421 группы

направления 03.03.03 «Радиофизика»

код и наименование направления

факультета нелинейных процессов

наименование факультета

Чуносова Владимира Сергеевича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

профессор,

доктор физико-математических наук,

доцент

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

С.О Семёнов

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой основ проектирования
приборов СВЧ профессор, д.э.н.,к.ф-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

Н.А. Бушуев

инициалы, фамилия

Саратов 2018 г.

Введение

Актуальность

Более 50% объема продаж всех СВЧ приборов принадлежат ЛБВ. Применения ЛБВ разнообразны. Они служат оконечным усилителем во всех спутниках связи. Во многих радиолокационных системах одна или большее количество ЛБВ используется в качестве усилителя высокой мощности, который создаёт зондирующий ВЧ импульс. С другой стороны, ЛБВ может быть использована в качестве предоконечного усилителя, в таком ВЧ усилителе высокой мощности, как усилитель со скрещенными полями. ЛБВ, работающие в диапазоне 43-45 ГГц, в настоящее время не выпускаются в РФ, однако являются основой для перспективных разработок систем передачи данных, систем связи и поэтому проектирование именно таких ламп является важной и актуальной задачей.

Описание структуры ВКР

Глава 1. Расчет электродинамических характеристик спиральной замедляющей системы с помощью программного кода HFSS

1.1 Выбор материалов для проектирования спиральной замедляющей системы

1.2 Описание программы

1.3 Результаты расчётов для «плющенко» сечением 0,16x0,25мм

1.4 Зависимость электродинамических параметров от поперечных размеров «плющенко»

Глава 2. Расчет пространства взаимодействия

2.1 Описание программы

2.2. Результаты расчета

Глава 3. Расчёт характеристик электронно-оптической системы ЛБВ

3.1 Описание программы

3.1.1 Модель электронного пучка

3.1.2 Описание модели конструкции МПФС и катодного магнитного экрана

3.1.3 Описание согласования электронного пучка с магнитным полем

3.1.3 Алгоритм программы

3.2 Результаты расчета ЭОС ЛБВ мм диапазона с выходной мощностью 80 Ватт

3.3 Согласование электронного пучка с магнитным полем

3.4 Проектирование электронной пушки

Цели и задачи

Целью выпускной квалификационной работы являлось проектирование спиральной лампы бегущей волны с выходной мощностью 80 Вт в диапазоне частот 42.5-45.5 ГГц.

В ходе работы необходимо было решить следующие задачи:

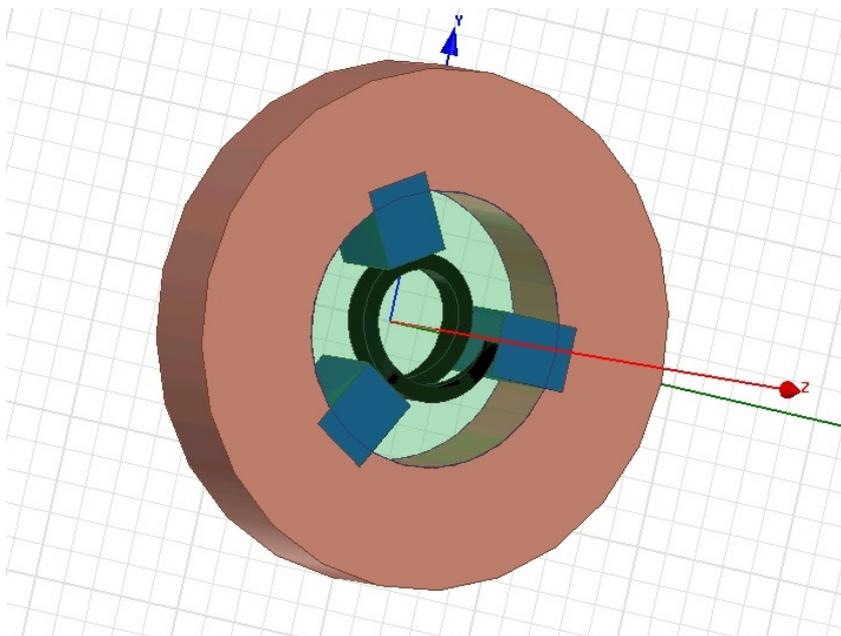
- освоить программы расчёта электродинамики, взаимодействия и фокусировки пучка в магнитной периодической системе (МПФС)
- рассчитать электродинамические характеристики СЗС с использованием программного кода HFSS
- рассчитать пространство взаимодействия пучка и волны и получить выходные характеристики ЛБВ
- рассчитать электронную пушку и согласование пучка с МПФС

Методы расчёта и исследования

Проектирование пространства взаимодействия проводилось в два этапа. На первом проводился расчёт электродинамических характеристик с помощью программы HFSS (High Frequency Structure Simulation), которая производит расчёт уравнений Максвелла методом конечных элементов в присутствии заданного геометрического объекта. В ней строилась трёхмерная модель одного периода замедляющей системы, задавались материалы, и производился расчёт, результатом которого являются замедление, сопротивление связи и затухание на данной частоте.

Затем, с помощью внутренних программ предприятия «Алмаз», в основе которых лежит одномерная модель пространства взаимодействия, производился расчёт пространства взаимодействия. Вначале задаются электродинамические характеристики и геометрические размеры замедляющей системы, а также такие параметры, как ускоряющее напряжение и ток пучка, заполнение пролётного канала пучком. В результате расчёта получают значения выходной мощности, коэффициента усиления и электронного КПД по длине ЗС, при различных значениях частоты и входной мощности. Так же настоящей работе был использован комплекс программ расчёта электронно-оптических систем, реализующих соотношения модели электронного пучка, электронной пушки, а также алгоритм согласования электронного пучка с магнитным полем.

Результаты расчётов электродинамики в HFSS для «плющенко» сечением 0,16 x 0,25 мм



Трёхмерная модель спиральной ЗС в HFSS.

Размеры и материалы модели: экран выполнен из меди (Cu), внешний диаметр экрана 1,7мм, диаметр внутреннего канала спирали 0,6мм, стержни выполнены из оксида бериллия(BeO) толщиной 0,4мм, утоплены в экран для лучшего теплоотвода на 0,1мм, спираль- из молибдена (Mo) с начальным шагом 0,5403 и сечением ленты 0,16 x 0,25мм.

Эти материалы и размеры были выбраны исходя из имеющихся на предприятии. На первом этапе был проведен анализ узла ЗС с имеющимися размерами, а потом они изменялись для достижения лучших электродинамических характеристик.

В результате расчетов по программе HFSS были получены электродинамические характеристики ЗС: зависимость сопротивления связи ($R_{св}$) в рабочей полосе частот, затухания и замедления.

Ниже приведена зависимость сопротивления связи ($R_{св}$) от частоты. Самое большое сопротивление связи в полосе частот 43,5 – 45,5 ГГц наблюдалось при шаге спирали, равном 0,5596см.

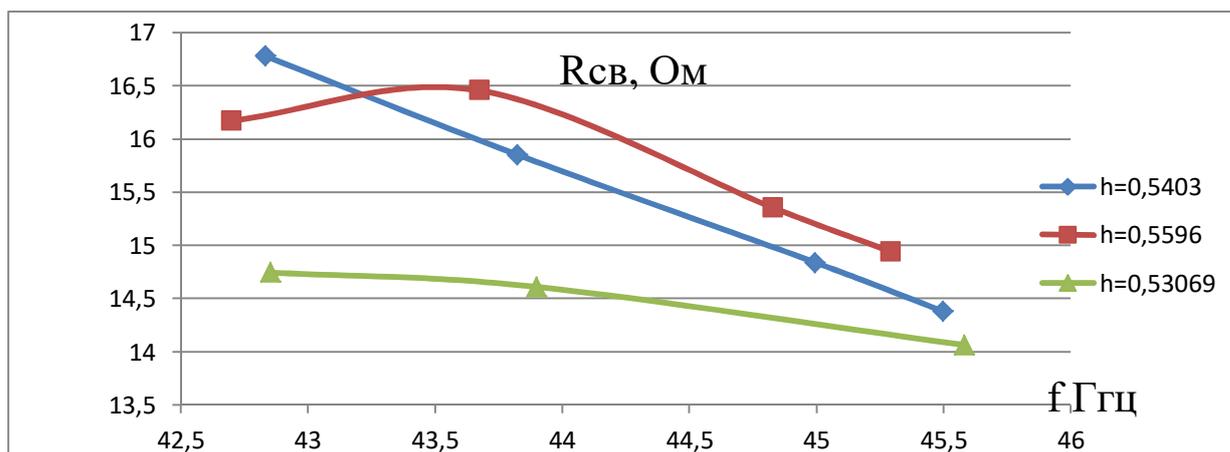


График зависимости ВЧ-потерь от частоты на трех различных шагах спирали h . В полосе частот 43,5-44ГГц электромагнитная волна на единичную длину (1мм) максимально ослабляется при шаге равном 0,53069см. Сечение «плющенко» не изменялось.

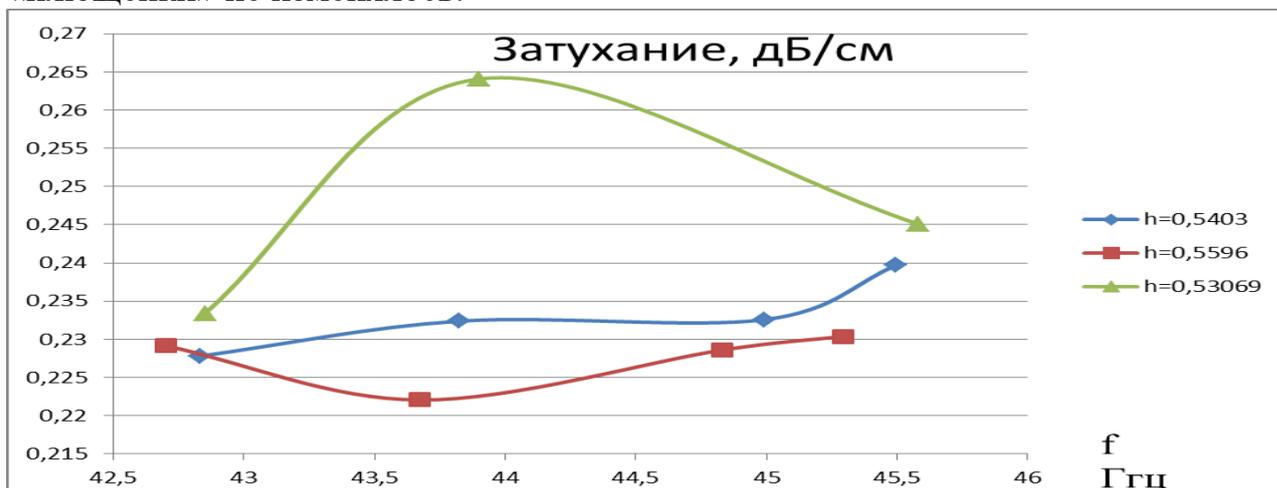
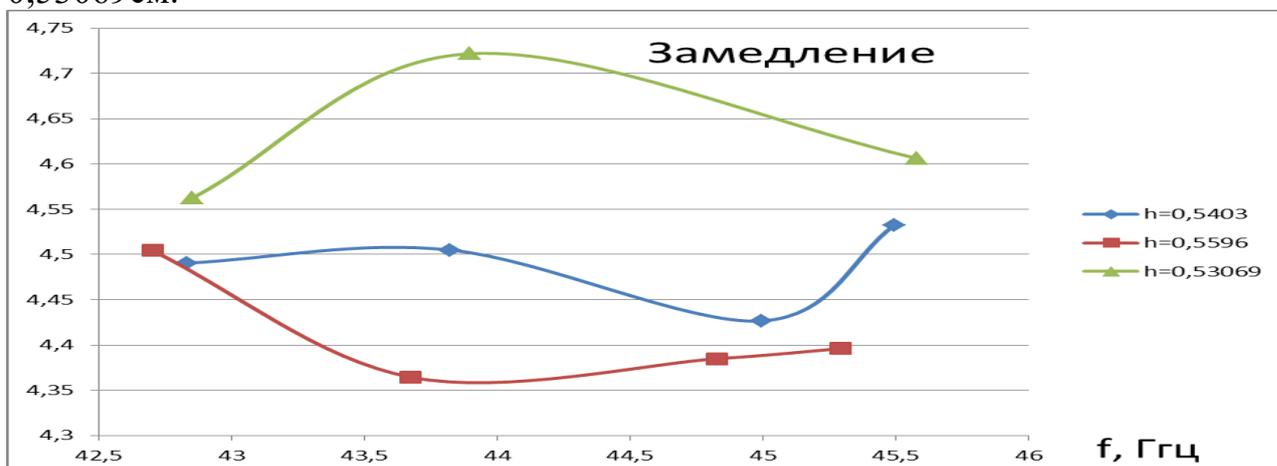


График зависимости коэффициента замедления от частоты f на трех различных шагах спирали h . Максимальное значение было получено в полосе частот 43,5-44ГГц и шаге 0,53069см.

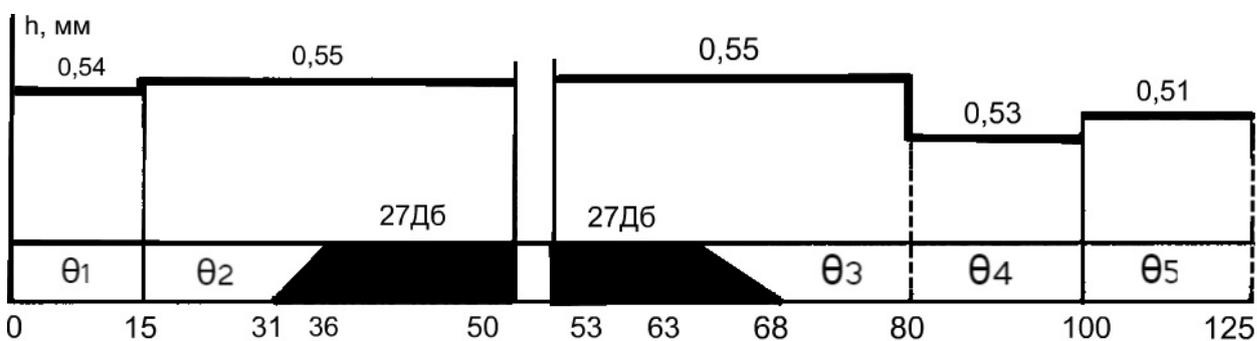


Расчет пространства взаимодействия

В программу расчета пространства взаимодействия были заданы параметры электродинамики, шага, диаметр канала, сечение «плющенко», размеры и материалы экрана, стержней из расчетов электродинамических характеристик. Задавались следующие характеристики пространства взаимодействия: канал ЗС 0,6 мм, плющенная лента из Мо сечением 0,16 x 0,25мм, экран медный внутренним диаметром 1,7мм, стержни из бериллиевой керамики толщиной 0,4 мм, $U_{вз} = 13000$ В, $I = 100$ мА; $b/a = 0,5$; $R_{\mu} = 0,072$ мкА/В^(3/2).

В ходе расчетов подбирались шаги спирали на разных участках ЗС, величина и расположение поглотителей.

Схема пространства взаимодействия показана на рисунке ниже. Затухание разрыва составляет 12 дБ, а затухание поглотителей- 27 дБ.



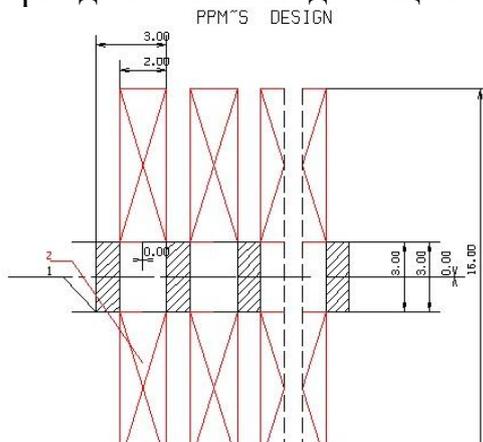
Результаты расчета сведены в таблицу ниже.

f, ГГц	42,5	43	44	44,5	45,5
R _{вх.нас} , мВт	4	5	6	6,5	7
R _{вых.нас} , Вт	123,5	126,4	131,7	133,3	134,1
КПД эл, %	10,40	10,8	11,09	11,14	11,29
K _{у.нас} , дБ	44,90	44,1	43,42	43,63	42,82
R _{вых} при Z _{вх} нас-3дб, Вт	107,3	112,2	118,4	116,6	110,8
K _у при R _{вх} нас-3дб, дБ	47,29	46,8	45,96	45,67	45,00

В результате проектирования получены следующие основные характеристики ЛБВ- в полосе частот 42,5- 45,5 ГГц выходная мощность достигает величины 123,5 - 134,1 Ватта при коэффициенте усиления 42,82- 44,90 дБ в режиме насыщения и 107,3 – 118,4 Вт и 45 -47,29 дБ соответственно в режиме компрессии – 3дБ.

Расчёт характеристик электронно-оптической системы ЛБВ

С помощью программы расчета ЭОС осуществлялось моделирование электронно-оптической системы, его результаты приводятся ниже. Результатом подборов параметров является конструкция магнитно-периодической замедляющей системы (МПФС), приведенная на рисунке.

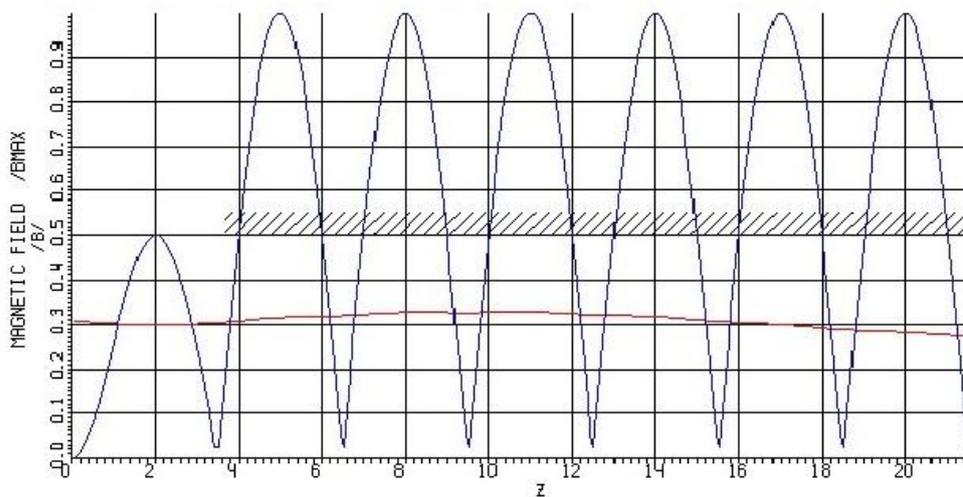


Магнитные кольца в МПФС имеют ширину 2мм, внешний диаметр 16мм и внутренний диаметр 3мм.

Согласование электронного пучка с магнитным полем

Для реализации алгоритма согласования электронного пучка с магнитным полем требуются следующие параметры: радиус пучка в кроссовере, расстояние между кроссовером пучка с началом магнитного поля, амплитуда магнитного поля, период магнитов, величина пульсации пучка.

В результате подбора параметров была получена зависимость магнитного поля от длины пролетного канала, а также изображение самого пучка в этом канале.



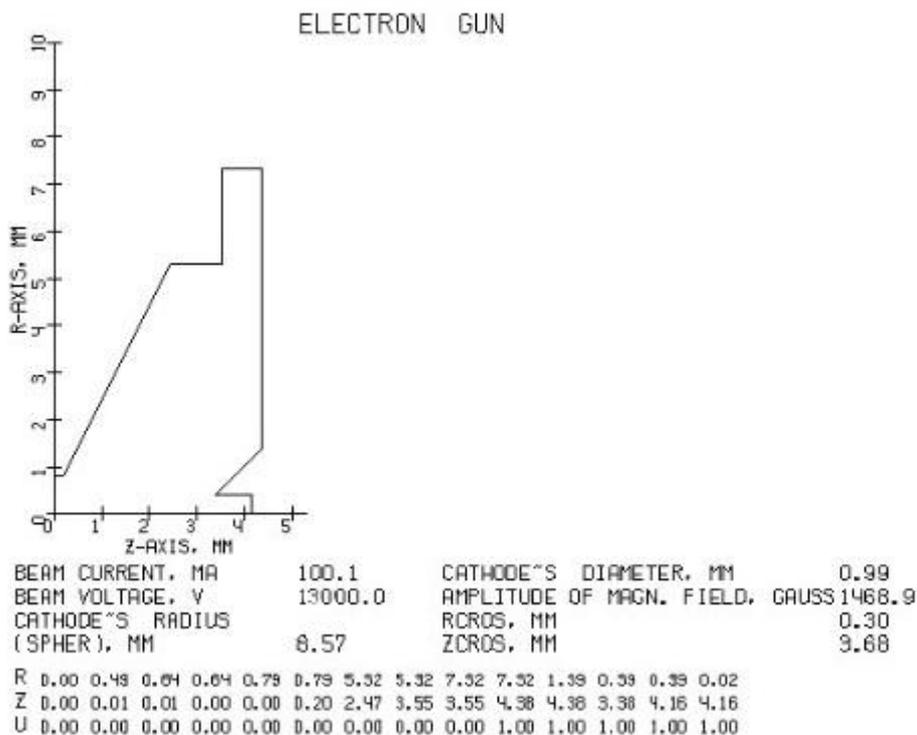
VOLTAGE 13000 V
MICROPERVEANCE 0.072 MKA/V^{3/2}
MAGNETIC FIELD (BMAX) 1468.9 GAUSS
PPM PERIOD 6.00 MM
PARAM. OF MAGN. FIELD 0.017

EQUILIBR. BEAM RADIUS 0.300 MM
BRILLOUIN BEAM RADIUS 0.239 MM
RATIO (RP/RTWH) 0.600
BEAM PULSATION VALUE 9.01%
BEAM RADIUS IN CROS. 0.30

Проектирование электронной пушки

Для проектирования электронной пушки было необходимо задать ток, напряжение, радиус катода, амплитуда магнитного поля, расстояние между анодом и кроссовером. Эти все параметры уже известны из результатов ранее полученных в этой программе. Результатом является график и одновременно чертеж электронной пушки с одним анодом, представленный ниже:

Диаметр катода 0,99 мм, ток 100 мА, кривизна катода 8,57 мм, амплитуда магнитного поля 1468 Гаусс.



Таким образом, в результате расчетов была определена первоначальная конструкция электронной пушки, параметры магнитной системы и условия согласования пучка с магнитным полем МПФС.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

- изучены и освоены программы расчета электродинамических характеристик СЗС HFSS, расчета взаимодействия электронного потока с бегущей электромагнитной волной, расчета характеристик электронно- оптических систем ЛБВ с фокусировкой пучка МПФС.
- проведены расчеты электродинамических характеристик спиральных СЗС и выбраны оптимальные размеры СЗС для использования в ЛБВ диапазона 42,5-45,5 ГГц.
- проведено проектирование пространства взаимодействия ЛБВ СЗС, позволившее получить в указанной полосе частот выходную мощность не менее 123 Ватт в режиме насыщения и коэффициент не менее 42 Дб.
- проведено проектирование электронно-оптической системы спиральной ЛБВ, выбрана начальная конструкция электронной пушки, МПФС и проведено согласование пучка с магнитным полем МПФС.