

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра Электроники колебаний и волн

«Оптимизация пространства взаимодействия спиральных ЛБВ»

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 225 группы

направления 03.04.03 «Радиофизика»

факультета нелинейных процессов

Тюрина Дмитрия Алексеевича

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

Роговин В.И.

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой электроники колебаний и волн,

член-корр. РАН,

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

Трубецков Д.И.

инициалы, фамилия

Саратов 2017 год

Введение

Задачи, связанные с повышением эффективности взаимодействия электронных потоков с электромагнитными полями и, как следствие, с увеличением КПД приборов СВЧ всегда занимали одно из центральных мест в электронике. В последние годы требования к выходным характеристикам приборов СВЧ существенно усложнились и стали комплексными. Так, для использования в космических системах связи необходимы приборы, сочетающие высокий КПД и малый уровень нелинейных искажений; для целей радиоэлектронного противодействия (РЭП) – необходимы усилители с высоким КПД в широкой полосе частот. Вследствие этого поиск оптимальных условий взаимодействия представляет собой актуальную область исследований.

Для получения наилучших выходных характеристик в спиральных ЛБВ необходимо определить величины параметров, влияющих на взаимодействие электронного потока с СВЧ-полями, при которых значение функции цели наивысшее. Оптимальный выбор параметров, остающихся неизменными в процессе взаимодействия, способен заметно улучшить значение функции цели. Для ЛБВО решающим значением для повышения эффективности взаимодействия является оптимальное изменение по длине пространства взаимодействия величин параметров, влияющих на процесс энергообмена. Такие величины будем называть управляющими параметрами. Задачу оптимального управления можно сформулировать следующим образом: необходимо определить такой набор управляющих параметров, который обеспечил бы оптимальность процесса взаимодействия электронного потока с ВЧ полем в приборе с точки зрения максимального значения функции цели. Функцией цели в частном случае могут служить следующие величины – КПД, коэффициент усиления, минимальный максимальный КПД в рабочей полосе частот и др.

Так же для уменьшения времени оптимизации (для ускорения решения задачи оптимального управления) необходимо разработать методику проектирования с использованием метода оптимизации, которая будет заключаться в выборе первоначального варианта пространства взаимодействия для ЛБВО с различными характеристиками, такими как полоса усиливаемых частот, усиление и др.

Целью магистерской работы является разработка методики проектирования пространства взаимодействия ЛБВ различного применения с использованием метода оптимизации.

Основное содержание работы.

На первом этапе написания магистерской работы были проведены исследования актуальной литературы, посвященной особенностям оптимизации электронных приборов СВЧ, изучены методы используемые для решения задач оптимизации электронных приборов СВЧ. В работе в качестве оптимизационного метода выбран метод поиска локального максимума Розенброка [1-3]. Достоинством данного метода является возможность выбора различных начальных условий и шагов варьируемых параметров, ограничения числа итерации, высокая скорость нахождения оптимального решения. Все это способствует нахождению оптимальной конструкции для функций цели близких к унимодальным. По результатам исследования был написан обзор литературы.

В первой главе магистерской работы был подробно рассмотрен метод поиска локального максимума Розенброка [1-3] и на его основе были составлены и описаны алгоритмы:

1. Алгоритм поиска максимума выходной мощности в зависимости от входной мощности.
2. Алгоритм поиска оптимальной зависимости шага СЗС по длине пространства взаимодействия узкополосной ЛБВ с использованием заданного первоначального варианта.
3. Алгоритм поиска оптимальной зависимости шага СЗС по длине пространства взаимодействия широкополосной ЛБВ с нормальной дисперсией.

Разработанные алгоритмы в дальнейшем использовались для написания программ оптимизации пространства взаимодействия широкополосных и узкополосных ЛБВ.

Во второй главе магистерской работы была рассмотрена система нелинейных уравнений одномерной теории: уравнение возбуждения,

уравнение движения заряженных частиц и уравнение для расчета гармоник тока, с помощью которой описываются процессы взаимодействия бегущей электромагнитной волны с электронным пучком в ЛБВ. Были выделены группы независимых параметров:

1. Параметры режима и геометрии
2. Характеристики замедляющей системы

, которые полностью определяют значения безразмерных управляющих параметров на основной частоте и ее гармониках, таких как b , q_0 , C , $\gamma_e a$, Γ_k , d и др. В качестве изменяемых параметров в процессе оптимизации логично выбрать электродинамические характеристики замедляющей системы. Одним из наиболее удобных способов изменения параметров замедляющей системы является изменения конфигурации шага замедляющей системы вдоль длины пространства взаимодействия.

Так же в данной главе была описана классификация ЛБВ по применяемости, в зависимости от которой выбирается тот или иной начальный вариант конструкции. В итоге, основываясь на применяемости, опыте проектирования и известных конфигурациях пространства взаимодействия ЛБВО, были выделены 4 основных начальных конструкции пространства взаимодействия, которые были описаны в данной главе.

В третьей главе магистерской работы была описана методика выбора первоначального приближения пространства взаимодействия. Первоначальная конструкция пространства взаимодействия, которая в дальнейшем подвергается оптимизации, выбирается из условий применения ЛБВ, требуемых выходных характеристик, знаний физики процесса, опыта проектирования, имеющихся аналогов и типоразмеров элементов из которых состоит замедляющая система для удовлетворения требованиям технического задания. Известно, что величины замедления и сопротивления связи в широкополосной спиральной ЗС существенно зависят от многих

факторов, а именно: диаметра и шага спирали; диаметра внешнего экрана; количества, размеров и материала диэлектрических стержней и др..

В качестве примера был проведен подробный предварительный расчет конструктивных параметров для спиральной замедляющей системы широкополосной ЛБВ с нормальной дисперсией и узкополосной ЛБВ. Формулы расчета получены на основе аппроксимации основных результатов линейной теории [4]. На основании полученной методики была написана программа для расчета начального приближения.

В итоге на основании полученных в ходе расчета результатов были спроектированы:

1. Спиральная замедляющая система для широкополосной ЛБВ X, Ku диапазона
2. Спиральная замедляющая система для узкополосной ЛБВ C диапазона.

В четвертой главе магистерской работы была рассмотрена методика и особенности функционирования программы оптимизации выходных параметров ЛБВ в полосе усиливаемых частот. Программа разрабатывалась для ЛБВ со спиральной замедляющей системой с нормальной дисперсией, т.е. для случая, когда известна связь электродинамических характеристик с размерами замедляющей системы. В главе последовательно рассмотрены все этапы предложенной методики:

1. На первом этапе осуществляется выбор первоначальной конструкции замедляющей системы. Схема выбора была описана в главе три.
2. На втором этапе с помощью программного пакета HFSS [5] проводится расчет электродинамических характеристик, таких как: коэффициент замедления n , сопротивление связи $R_{св}$ и затухание α в рабочей полосе частот.

3. На третьем этапе задается рабочий файл для программы оптимизации пространства взаимодействия, структура и особенности которого были подробно описаны.

После выполнения вышеописанных действий производится запуск программы оптимизации пространства взаимодействия. В зависимости от требуемой конфигурации ЛБВ выбирается программа для оптимизации пространства взаимодействия широкополосных или узкополосных ЛБВ. Особенности и различия алгоритмов для данных программ так же были подробно рассмотрены в четвертой главе. Для каждого случая была составлена блок-схема программы оптимизации пространства взаимодействия.

Анализ результатов оптимизации проводится с помощью программы DIN13, которая позволяет получить изображение изменения шага и распределения выходных характеристик по длине прибора.

В пятой главе магистерской работы описан непосредственно сам процесс оптимизации пространства взаимодействия широкополосной ЛБВ X , K_u диапазона и сравнение выходных характеристик полученных конфигураций с выходными характеристиками ближайшего аналога. В главе подробно описана методика оптимизации пространства взаимодействия, в ходе которой мы переходим от однородной ЛБВ к ЛБВ с N скачками шага. Для предложенного примера было разработано три конфигурации пространства взаимодействия с пятью скачками. Было получено процентное соотношение выходной мощности полученных конфигураций с выходной мощностью аналога в рабочей полосе частот. Все полученные конфигурации превзошли ближайший аналог по величине выходной мощности сигнала, однако перепад коэффициента наилучшего усиления увеличился на 1,4 дБ.

В шестой главе магистерской работы описан непосредственно сам процесс оптимизации пространства взаимодействия узкополосной ЛБВ C диапазона с заданным первоначальным вариантом и сравнение выходных

характеристик полученных конфигураций с выходными характеристиками ближайшего аналога. Основываясь на опыте проектирования узкополосных ЛБВ со спиральной замедляющей системой для повышения электронного КПД была выбрана конструкция пространства взаимодействия с изохронностью. Общий вид конструкции показан в главе 3. Пространство взаимодействия разбивается на 7 участков. Изохронность в выходной секции предлагается разбить на 3 участка. За счет этого во время процесса оптимизации наклон изохронности вычисляется точнее. Полученные в ходе оптимизации конструкции пространства взаимодействия результаты существенно превышают аналог. В полученном варианте электронный КПД вырос в 1,5 раза, но значение коэффициента усиления упало на 14 дБ.

Заключение

В ходе работы была предложена методика проектирования пространства взаимодействия узкополосной ЛБВ и широкополосной ЛБВ с нормальной дисперсией с использованием методов оптимизации. На основании разработанной методики были написаны программа расчета начального приближения, программы оптимизации пространства взаимодействия широкополосной ЛБВ с нормальной дисперсией и узкополосной ЛБВ с использованием опыта проектирования.

В качестве оптимизационного метода использовался метод Розенброка с ограничениями. Введенные ограничения позволили снизить время работы программ и повысили достоверность результатов.

В качестве отработки для программ оптимизации пространства взаимодействия использовались: узкополосная ЛБВ С диапазона, широкополосная ЛБВ X, Ku диапазона с шириной полосы более октавы. В результате оптимизации получилось увеличить электронный КПД узкополосной ЛБВ для систем космической связи в 1,5 раза до уровня 60%, электронный КПД широкополосной ЛБВ на краях рабочего диапазона частот в 1,25 раз и в середине рабочего диапазона частот в 1,2 раза. Благодаря продолженной методике и программным решениям время, потраченное на разработку, существенно снизилось.

Список литературы

1. А.Г.Трифонов. "Постановка задачи оптимизации и численные методы ее решения"
2. А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. Метод оптимизации в примерах и задачах. Издание второе исправленное.М. «Высшая школа», 2005.
3. А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин. Алгоритмы прямого поиска.
4. Цейтлин М.Б., Кац А.М. Лампа с бегущей волной. М. «Советское радио» 1964.
5. HFSS – High Frequency Structure Simulation. Manual, Ansoft, 2004.
www.ansoft.com.