Омиров, Андрей Антонович. Метод проектирования колебательной системы коаксиального магнетрона, работающего при малой длительности фронта модулирующего импульса : диссертация ... кандидата технических наук : 05.12.07 / Омиров Андрей Антонович; [Место защиты: Моск. техн. ун-т связи и информатики].- Москва, 2013.- 162 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/1387

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО

ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

МИЭМ НИУ ВШЭ

На правах рукописи

ОМИРОВ АНДРЕИ АНТОНОВИЧ

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

КОАКСИАЛЬНОГО МАГНЕТРОНА, РАБОТАЮЩЕГО ПРИ МАЛОЙ

ДЛИТЕЛЬНОСТИ ФРОНТА МОДУЛИРУЮЩЕГО ИМПУЛЬСА

Специальность 05Л2.07 - Антенны, СВЧ - устройства и их технологии

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель: д.т.н., профессор Нефедов Владимир Николаевич

Научный консультант: д.т.н. Гурко Александр Александрович

Москва 2013

ВВЕДЕНИЕ 5

Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МАГНЕТРОНОВ 11

1.1 Положение дел в миллиметровом диапазоне длин волн 12

1.1.1 Масштабное моделирование разнорезонаторных магнетронов

сантиметрового диапазона длин волн 13

1.1.2 Режим взаимодействия электронного потока с пространственной

гармоникой вырожденного вида колебаний 14

1.1.3 Коаксиальный магнетрон 16

1.2 Длительность фронта модулирующего импульса 17

Выводы к главе 1 23

Глава 2. АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНЕТРОНА 24

2.1 Классическая конструкция коаксиального магнетрона 24

2.2 Коаксиальный магнетрон с использованием режима взаимодействия

электронного потока с низшей пространственной гармоникой вырожденного вида колебаний 26

2.2.1 Равнорезонаторная анодная замедляющая система 26

2.2.2 Разнорезонаторная анодная замедляющая система 29

2.3 Коаксиальный магнетрон с режимом взаимодействия электронного

потока с высшей пространственной гармоникой ж вида колебаний 32

2.4 Температурный режим анодной замедляющей системы 44

2.5 Стабилизирующий резонатор коаксиального магнетрона 51

Выводы к главе 2 60

Глава 3. ЩЕЛЕВОЙ ВИД КОЛЕБАНИЙ В КОАКСИАЛЬНОМ МАГНЕТРОНЕ 62

3.1 Способы подавления щелевого вида колебаний 62

3.2 Методики расчета параметров щелевого вида колебаний 70

3.2.1 Идеология принятой методики [90] 70

3.2.2 Методика Э.Д. Шлифера для нахождения проводимости щелей

связи 73

3.2.3 Представление щели связи как участка волновода 79

3.2.4 Применение трехмерного моделирования для расчета параметров

щелей связи 80

3.3 Сравнение результатов расчета различными методиками 84

3.4 Законы группировок щелей связи 86

3.5 Реактивное подавление щелевого вида колебаний в коаксиальном магнетроне на основной волне ж вида колебаний и «тонкой» периферийной стенкой анодной замедляющей системы на примере модели

сантиметрового диапазона длин волн 88

3.6 Обобщенный параметр величины неоднородности 97

3.7 Реактивное подавление щелевого вида колебаний в коаксиальном

магнетроне на основной волне ж вида колебаний и «тонкой» периферийной стенкой анодной замедляющей системы в миллиметровом диапазоне длин волн 101

3.8 Реактивное подавление щелевого вида колебаний в коаксиальном

магнетроне на высшей пространственной гармонике ж вида колебаний и «тонкой» периферийной стенкой анодной замедляющей системой 104

3.9 Реактивное подавление щелевого вида колебаний в коаксиальном магнетроне с «толстой» периферийной стенкой анодной замедляющей

системы 110

Выводы к главе 3 115

Глава 4. МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНЕТРОНА МИЛЛИМЕТРОВОГО

ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН 116

4.1 Метод проектирования колебательной системы коаксиального магнетрона коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн 118

4.2 Проектирование колебательной системы коаксиального магнетрона 4- мм диапазона длин волн с малым уровнем выходной мощности [111] ...Л23

4.2.1 Выбор размеров катода 123

4.2.2 Расчет анодной замедляющей системы 124

4.2.3 Расчет тепловой нагрузки на ламели анодной замедляющей системы

128

4.2.4 Расчет параметров стабилизирующего резонатора 129

4,3 Проектирование коаксиального магнетрона 4-мм диапазона длин волн

со средним и высоким уровнями выходной мощности 133

Выводы к главе 4 140

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 141

Список использованных источников 145

ПРИЛОЖЕНИЯ (Акты внедрения результатов диссертации) 157

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа посвящена созданию метода проектирования колеба­тельной системы КМ коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн, работоспособного при малой длительности фронта модулирую­щего импульса. Фрагментарное на сегодняшний день состояние принципов проектирования магнетронов этого типа приводит к серьезным трудностям в процессе разработки КМ миллиметрового диапазона длин волн. В процессе решения этой задачи создан метод разработки колебательной системы КМ миллиметрового диапазона длин волн и применены новые подходы к реше­нию уже известных проблем, позволяющие выполнить полный цикл расчета электродинамических параметров КМ миллиметрового диапазона длин волн.

Проведена оценка целесообразности применения к КМ коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн уже существующих рекоменда­ций и предложены новые решения. Получило дальнейшее развитие примене­ние режима ВПГ в КМ и выполнение группировки щелей связи прямоуголь­ной формы путем изменения их аксиальной протяженности для реактивного подавления ДПВ в миллиметровом диапазоне длин волн. Предложено изго­товление СР с *Did* < 2,0 с целью снижения плотности перестройки частоты и рассмотрено применение «толстой» периферийной стенки АЗС.

Массив проведенных расчетов позволил разработать новые рекоменда­ции по проектированию КМ миллиметрового диапазона длин волн, с одной стороны, позволяющие улучшить характеристики известных приборов, а с другой - открывающие путь для создания КМ коротковолновой части мил­лиметрового диапазона длин волн. Их выполнение позволяет создавать КМ, стабильно работающие при длительностях фронта модулирующего импуль­са, сравнимых с магнетронами без СР. Согласно этим рекомендациям в на­стоящей работе выполнено проектирование колебательных систем КМ 4-мм диапазона длин волн с низким и средним уровнями выходной импульсной мощности с уровнем выходных параметров, превышающим уровень извест­ных моделей магнетронов этого диапазона без СР.

Основные результаты работы:

1. В результате анализа причин, приводящих к нестабильной работе КМ при длительности фронта модулирующего импульса, сравнимой с магнетро­нами без стабилизирующего резонатора, выделен наиболее эффективный способ их устранения - применение в КМ режима взаимодействия электрон­ного потока с высшей пространственной гармоникой *ж* вида колебаний. На основании массива расчетов и эксперимента в 8-мм диапазоне длин волн сделан вывод о целесообразности применения этого режима взаимодействия в КМ, особенно в коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн. Впервые обнаружено, что зависимость диссипативных потерь в АЗС от угла раскрыва резонаторов при работе на высшей пространственной гармо­нике *ж* вида имеет экстремальный характер с расположением максимума в районе ~84°. Кроме того, выявлена сложная зависимость уровня диссипатив­ных потерь от количества резонаторов АЗС.
2. Разработаны рекомендации по выбору геометрических параметров стабилизирующего резонатора КМ миллиметрового диапазона длин волн, особенно коротковолновой его части. При расчете параметров стабилизи­рующего резонатора предложено использовать в качестве исходного пара­метра его аксиальную протяженность на заданной частоте вместо отношения внешнего диаметра к внутреннему. Это позволяет существенно снизить объ­ем необходимых расчетов и экспериментов.
3. В результате анализа тепловой задачи в КМ предложены меры по уменьшению температурной нагрузки на торцы ламелей в случае превыше­ния допустимых значений температуры. С этой целью выполнено сравнение тепловой нагрузки на ламели при применении классической анодной замед­ляющей системы и анодной замедляющей системы с использованием режима взаимодействия электронного потока с высшей пространственной гармони­кой *ж* вида колебаний, а также при изготовлении анодных замедляющих сис­тем с «толстыми» и «тонкими» периферийными стенками. При этом обосно­вана некорректность применения известных методов расчета тепловой на­грузки на ламели замедляющей системы, приведенных в работах [58, 75], связанная с тем, что не учитывается градиент температуры по периферийной стенке АЗС. Предложено использование программы [76] для расчета темпе­ратуры на торцах ламелей.
4. Выбран наиболее эффективный способ усиления подавления щелевого вида колебаний посредством введения реактивного «разрушения» спектра его пространственных гармоник, что необходимо для устранения конкури­рующего воздействия щелевого вида без ухудшения параметров рабочего ви­да. С этой целью предложена методика расчета степени «разрушения» спек­тра пространственных гармоник высокочастотного поля щелевого вида коле­баний при использовании группировки щелей связи, оцениваемой по величи­не диссипативных потерь в анодной замедляющей системе при нормирова­нии амплитуды я'-видной гармоники к единице. Рассмотрены способы расче­та входной проводимости щели связи по методике Э.Д. Шлифера и предло­жена ее модификация. Представлены ограничения в использовании этих ме­тодик, связанные с рассмотрением щели связи как тонкой диафрагмы. Пред­ложена новая (волноводная) методика расчета, применимая при рассмотре­нии группировки щелей связи в «толстой» периферийной стенке анодной за­медляющей системы.
5. В результате анализа различных вариантов объединения щелей связи в группы, описанных в литературе, и расчета «разрушения» спектра простран­ственных гармоник высокочастотного поля щелевого вида колебаний при их применении расчетным образом подтвержден наиболее эффективный способ группировки - разделение щелей связи на две группы, отличающихся профи­лем либо размерами. На основании расчетов представлены рекомендации по составу этих групп. Представлены рекомендации по применению группиров­ки щелей связи прямоугольного профиля различной аксиальной протяженно­сти, эффективной в КМ миллиметрового диапазона длин волн, где изготов­ление щелей связи гантельного профиля приводит к уменьшению жесткости анодной замедляющей системы. В результате анализа целесообразности ис­пользования реактивного «разрушения» спектра пространственных гармоник высокочастотного поля щелевого вида колебаний при изготовлении «тол­стой» периферийной стенки анодной замедляющей системы показана необ­ходимость применения диссипативного способа его подавления.
6. Разработан метод проектирования колебательной системы КМ милли­метрового диапазона длин волн, позволяющий, по крайней мере, в 4-мм диа­пазоне длин волн преодолеть трудности, возникающие при разработке корот­коволновых КМ, и существенно отличающийся от приведенного в работе [1]. В методе предложен ряд рекомендаций, которыми разработчику следует ру­ководствоваться при создании КМ миллиметрового диапазона длин волн, особенно коротковолновой его части - например, предпочтительность ис­пользования режима взаимодействия электронного потока с высшей про­странственной гармоникой *ж* вида колебаний и предложения по выбору гео­метрических параметров стабилизирующего резонатора. Результатом проек­тирования по предложенному методу является законченный расчет электро­динамических параметров колебательной системы КМ.

По предложенному методу выполнено проектирование колебательных систем КМ 4-мм диапазона длин волн с низким и средним уровнями выход­ной мощности и сделан вывод о возможности создания их промышленных образцов.