



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «АЛМАЗ»

410033, г. Саратов, ул. им. Панфилова И.В., зд. 1А стр.1

тел.: +7 (8452) 63-25-57, 63-35-58
факс: +7 (8452) 48-00-39
email: info@almaz-rpe.ru, www.almaz-rpe.ru

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
АО «НПП «Алмаз», к.э.н.,
председатель
научно-технического совета
АО «НПП «Алмаз»



М.П. Апин
2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Алмаз» – на диссертацию Торгашова Романа Антоновича «Особенности процессов распространения электромагнитных волн электронно-волнового взаимодействия в миниатюрных приборах О-типа миллиметрового диапазона с пространственно-развитыми электродинамическими структурами и ленточными электронными потоками», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – «Радиофизика».

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ

Продвижение в миллиметровый диапазон длин волн электромагнитного излучения является актуальным направлением исследований в радиофизике и современной СВЧ-электронике. В качестве перспективного прибора для освоения столь коротковолнового диапазона выступает лампа бегущей волны (ЛБВ) – широкополосный усилитель с высоким электронным КПД. Отдельный интерес представляют также лампы обратной волны – генераторы с возможностью электронной перестройки частоты. Однако рост рабочих частот приводит к существенному сокращению поперечных размеров приборов, что вызывает трудности, как при разработке новых конструкций усилителей и генераторов, так и при их изготовлении. Использование классических спиральных замедляющих систем (ЗС) в лампах миллиметрового диапазона, а также формирование и транспортировка сильноточных цилиндрических электронных пучков малого диаметра оказывается весьма затруднительным. Поэтому перспективным направлением является разработка и исследование

пространственно-развитых ЗС, в которых возможно взаимодействие с ленточными одно- или многолучевыми электронными потоками. Таким образом тема диссертационной работы является актуальной.

ОФОРМЛЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Торгашова Р.А. «Особенности процессов распространения электромагнитных волн и электронно-волнового взаимодействия в миниатюрных приборах О-типа миллиметрового диапазона с пространственно-развитыми электродинамическими структурами и ленточными электронными потоками» состоит из введения, трех глав и заключения. Объем диссертации составляет 161 страницу, включая 102 рисунка и 9 таблиц. Список литературы содержит 148 наименований.

Во введении приведена информация об актуальном состоянии исследований по теме диссертации на данный момент. Автор обосновывает актуальность темы диссертации, формулирует цели и задачи работы, научную новизну и научно-практическую значимость. Первая глава посвящена исследованию ЗС типа микрополосковый меандр на диэлектрической подложке. Приведены подробные результаты об электродинамических характеристиках таких структур, проведена их оптимизация. В диссертации также исследуются вопросы корректного расчета величины омических потерь. Данный аспект является крайне важным при проектировании приборов миллиметрового диапазона. Приведено сопоставление полученных результатов с результатами экспериментального исследования. Представлены результаты моделирования процессов электронно-волнового взаимодействия в ЛБВ V-диапазона (50-70 ГГц) с микрополосковой меандровой ЗС и ленточным электронным пучком. В тексте диссертации также исследуется возможность масштабирования меандровых ЗС на более высокочастотные диапазоны вплоть до 170 ГГц. Также в первой главе представлены результаты исследования ЗС типа встречные штыри и «кольцо-перемычка» на диэлектрических подложках для миниатюрных ЛОВ-генераторов, которые могут выступать в качестве задающих генераторов для исследуемых в работе ЛБВ-усилителей.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию планарных меандровых ЗС для двухлучевых ЛБВ-усилителей. Автором предлагаются новые конструкции ЗС, в частности, ЗС в виде двух связанных меандров на диэлектрической подложке для двухлучевой ЛБВ с электронными пучками, ориентированными в горизонтальной плоскости. Показано, что дисперсионная характеристика такой ЗС расщепляется на две ветви с симметричной и антисимметричной структурой поля. Автором показано, что взаимодействие на симметричной моде является более выгодным, в силу более высоких значений сопротивления связи и более низких значений напряжения синхронизма. Представлены результаты моделирования электронно-волнового взаимодействия, согласно которым использование такой конструкции позволяет повысить выходную мощность в режиме насыщения в два раза по сравнению с однолучевой конструкцией, исследуемой в первой главе. Также исследуется конструкция полосковой ЗС в виде меандра с металлическими опорами в прямоугольном волноводе. В такой конструкции предполагается взаимодействие с двумя параллельными ленточными электронными пучками, распространяющимися над и под меандром. Автором предложена полноразмерная модель с устройствами согласования, состоящая из двух однородных идентичных секций для предотвращения самовозбуждения в ЛБВ на обратной гармонике. Исследуются линейные и нелинейные режимы взаимодействия в такой лампе при различных уровнях входного сигнала.

Третья глава диссертации посвящена ЗС в виде многоэтажных меандров. Предполагается, что в таких конструкциях возможно распространение нескольких ленточных электронных пучков в отдельных пролетных каналах, расположенных друг над другом. Автором показано, что увеличение числа пролетных каналов и числа электронных пучков соответственно может привести к пропорциональному росту выходной мощности прибора. Однако с увеличением числа пролетных каналов, а значит и с повышением степени сверхразмерности электродинамической структуры, возникают трудности,

связанные с риском паразитного самовозбуждения на высших собственных модах, и усложняется разработка системы согласования.

В заключении автор формулирует основные результаты и выводы диссертации. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с действующими требованиями ВАК РФ. Работа изложена ясным научным языком.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Наиболее значимыми новыми научными результатами, полученными автором диссертации, являются:

- Подробно изучены электродинамические параметры микрополосковых ЗС типа меандр на диэлектрической подложке с использованием современных методик трехмерного моделирования. Представлены результаты проектирования на V (50-70 ГГц), W (75-110 ГГц) и D (110-170 ГГц).
- Проведено сопоставление различных методов расчета омических потерь для микрополосковых электродинамических структур с толщиной проводящего слоя ~ 1 мкм, а также сопоставление численных результатов с экспериментальными.
- Предложены новые ЗС планарного типа для двухлучевых конструкций ЛБВ миллиметрового диапазона, подробно изучены как электродинамические характеристики, так и особенности электронно-волнового взаимодействия.
- Проведен подробный анализ трансформации электродинамических характеристик многорядных ЗС типа многоэтажный меандр с ростом числа пролетных каналов.

Выявленные автором закономерности и полученные результаты сформулированы Торгашовым Р.А. в виде положений, выносимых на защиту. Полученные результаты **обладают научной новизной**, и научно-практической значимостью.

ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обоснованность и достоверность результатов, сформулированных положений и выводы подтверждена использованием современных методик трехмерного моделирования и сопоставлении различных методов расчета, а также сопоставлении численных результатов с экспериментальными.

Оценивая работу Торгашова Р.А. в целом, стоит отметить, что данная работа написана на высоком уровне, методы, используемые автором, актуальны, а личный вклад автора не вызывает сомнений. Во введении автором приведена информации об апробации результатов работы на большом числе конференций и конкурсов, а также о большом числе публикаций по теме исследования. Торгашовым Р.А. получены новые и важные теоретические результаты, связанные с процессами распространения электромагнитных волн и электронно-волнового взаимодействия в миниатюрных аналогах классических приборов О-типа миллиметрового диапазона.

В диссертационной работе имеются некоторые недостатки:

1. При формулировании положений 1, 2 и 4 автор не конкретизирует рабочие частоты исследуемых систем, а использует общее наименование «миллиметровый диапазон», что соответствует частотам вплоть до 300 ГГц. Следовало бы указать конкретные значения рабочих диапазонов.
2. В гл. 3 автор приводит результаты расчета сопротивления связи в многорядных ЗС типа многоэтажный меандр, указывая, что высокие значения сопротивления связи обеспечивается относительно однородным распределением продольной компоненты электрического поля в области распространения электронных пучков. Однако количественная оценка однородности распределения поля в тексте диссертации отсутствует.
3. Моделирование процессов электронно-волнового взаимодействия в диссертации проводится в предположении, что фокусирующее магнитное поле является однородным. Однако в случае многолучевых приборов неоднородность поперечного распределения магнитного поля может привести к нарушению фокусировки отдельных пучков.

4. В диссертации приводятся результаты расчета омических потерь в рассматриваемых ЗС, которые в миллиметровом диапазоне принимают высокие значения. При этом отсутствует обсуждение вопроса о тепловой устойчивости ЗС, что особенно актуально в случае тонкопленочных микрополосковых структур.

Тем не менее приведенные замечания **не снижают общий высокий уровень и положительную оценку** диссертационной работы.

Диссертационная работа Торгашова Р.А. является самостоятельным и законченным научным исследованием. Диссертация прошла апробацию на большом числе научных конференций различного уровня. Результаты диссертации в полной мере опубликованы, включая 12 статей в журналах, рекомендованных ВАК, а также 45 тезисов докладов в трудах различных конференций. Автореферат диссертации и научные публикации в полной мере отражают её суть и содержание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа «Особенности процессов распространения электромагнитных волн и электронно-волнового взаимодействия в миниатюрных приборах О-типа миллиметрового диапазона с пространственно-развитыми электродинамическими структурами и ленточными электронными потоками» удовлетворяет требованиям пп. 9–11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, соответствует паспорту специальности 1.3.4. – Радиофизика, в частности п. 1 и п. 3, а её автор Торгашов Роман Антонович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4. – Радиофизика.

Диссертационная работа Торгашова Романа Антоновича заслушивалась и обсуждалась на заседании научно-технического совета АО «НПП «Алмаз». Отзыв утвержден единогласно на заседании научно-технического совета АО «НПП «Алмаз» от 25.09.2024 г. (протокол № 04/24).

ОТЗЫВ СОСТАВИЛ:

Заместитель директора
НПЦ «Электронные системы»
по развитию и внедрению
результатов НИОКР, к.ф.-м.н.



В.И. Роговин

Ученый секретарь НТС, к.т.н.



Д.А. Архипов

ПОДПИСИ В.И. РОГОВИНА И Д.А. АРХИПОВА ЗАВЕРЯЮ

Начальник отдела
управления персоналом



Н.А. Коноплина

410033, Саратовская область, г. Саратов, ул. им. Панфилова И.В., зд. 1а, стр. 1
Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Алмаз»
Телефон/факс: +7 (8452) 63-35-58 / +7 (8452) 48-00-39
Адрес электронной почты: info@almaz-rpe.ru
Официальный сайт: <https://almaz-rpe.ru/>