

ОТЗЫВ

официального оппонента Рыскина Никиты Михайловича
на диссертационную работу Чернышева Максима Алексеевича
«Многомодовые многоканальные резонансные системы для приборов
клистронного типа», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и
плазменная электроника

Для улучшения выходных характеристик электровакуумных СВЧ приборов в последние годы все чаще используются так называемые пространственно-развитые электродинамические структуры, в которых возможно взаимодействие с многолучевыми электронными потоками. Особый интерес представляют многолучевые клистроны (МЛК). Их преимущества хорошо известны: это возможность повышения мощности при умеренных напряжениях, высокий КПД, относительно широкая полоса усиления, малые габариты и масса. Однако традиционные конструкции МЛК с тороидальными резонаторами по-видимому подошли к пределу своих возможностей. Поэтому разработка новых конструкций резонаторов для МЛК с улучшенными характеристиками, которой посвящена диссертация М.А. Чернышева, несомненно является важной и актуальной задачей.

В диссертации предложено и исследовано несколько новых и интересных конструкций многолучевых многозачорных резонаторов. В основном они содержат элементы в виде диэлектрических подложек, на которых располагаются полосковые линии, соединяющие те или иные элементы резонатора. Они облегчают управление характеристиками (частота, добротность, характеристическое сопротивление) различных собственных мод резонатора. Это многообещающий и оригинальный подход, который несомненно заслуживает внимания.

Кратко перечислим наиболее существенные новые научные результаты, полученные в диссертации. Глава 1 носит обзорный характер. В ней кратко охарактеризовано современное состояние разработок МЛК, описаны основные используемые конструкции резонаторов. Отдельное внимание уделяется системам, содержащим резонансные элементы на диэлектрических подложках.

Глава 2 посвящена исследованию многозазорных многолучевых (18-19 лучей) резонаторов с полосковыми линиями. Резонаторы содержат подвешенную диэлектрическую подложку, которая поддерживает металлические втулки, образующие зазоры резонатора. На подложках нанесены две четвертьволновые или полуволновые полосковые линии, которые имеют электрический контакт с центральными втулками и корпусом резонатора. Рассматриваются конструкции с цилиндрическими и призматическими втулками. Исследование проводится по единому методическому плану. Вначале с помощью метода конечных элементов проводятся расчеты собственных типов колебаний резонатора в широком диапазоне частот (4-20 ГГц), анализируется структура полей. Далее на основе полученных результатов рассчитываются электронные параметры (коэффициент электронного взаимодействия, электронная проводимость). Анализируется перестройка частоты при изменении геометрических параметров полосковых линий с целью настройки каких-либо двух типов колебаний на кратные частоты. Также в главе 2 предложен четырехзазорный резонатор дециметрового диапазона, содержащий свернутую полосковую линию. Такая конструкция позволила значительно миниатюризировать размеры резонатора. Собственными частотами резонатора можно управлять, изменяя эффективную длину полосковой линии, т.е. электрически соединяя ее в определенных местах с корпусом резонатора. Данный резонатор был изготовлен и исследован экспериментально, отмечается хорошее соответствие расчетных и экспериментальных данных.

В Главе 3 предложена конструкция многозазорного призматического резонатора, который содержит три керамические подложки с полосковыми линиями, расположенные под углом 120° . Собственные частоты такого резонатора лежат в С- и Ку-диапазонах. Исследовано влияние диэлектрической проницаемости и толщины подложки на частоты, характеристические сопротивления и добротности различных собственных мод резонатора. Также показана возможность перестройки частоты с помощью дополнительного закорачивания полосковых линий. При этом частоты π - и 2π -мод изменяются достаточно существенно, а частоты $3\pi/2$ -мод практически не меняются, что открывает возможность настройки мод на кратные частоты.

Наконец, в Главе 4 рассмотрены многолучевые двухззорные квазифрактальные резонаторы (ДКФР). Такие резонаторы отличаются сложной разветвленной конструкцией опор, которые поддерживают втулки, образующие пролетные каналы. За счет этого увеличивается эквивалентная индуктивность резонатора. Соответственно, увеличивается его характеристическое сопротивление и уменьшаются размеры. В принципе, такой подход известен, однако автор диссертации предложил новые интересные модификации ДКФР. Во-первых, это конструкция с коническим опорным стержнем, которая отличается повышенным характеристическим сопротивлением, а также обеспечивает большую механическую прочность. Во-вторых, аналогично Главам 2 и 3, исследован ДКФР с полосковыми линиями на диэлектрической подложке. Здесь также основное внимание уделено настройке двух мод резонатора на кратные частоты при изменении длины перестроечного элемента.

Таким образом, в диссертации представлена совокупность результатов, которую можно квалифицировать как решение актуальной задачи вакуумной СВЧ электроники. В работе предложены и исследованы новые многоззорные многолучевые резонаторы, отличающиеся миниатюрными размерами, высоким характеристическим сопротивлением и расширенными возможностями перестройки резонансных частот за счет использования полосковых элементов на диэлектрических подложках.

Основные замечания по тексту диссертации сводятся к следующему:

1) Глава 1 носит обзорный характер. Однако в ней анализируется относительно малое число литературных источников, подбор которых подчас носит случайный характер.

2) На рис. 2.2 представлены частотные зависимости параметров S_{11} и S_{21} для различных типов колебаний. Однако автор не поясняет, как конкретно вводятся эти параметры. Введение коэффициентов отражения и прохождения подразумевает, что моделируемая структура имеет входной и выходной порты. Однако на рисунках, где приводится схема резонатора, такие элементы отсутствуют.

3) Результаты моделирования многолучевого клистрона (разд. 2.1) носят фрагментарный характер. Не поясняется, почему была выбрана данная конструкция клистрона и что конкретно дает применение в ней резонаторов с подложкой. Методически правильно было бы взять какую-либо известную из

литературы конструкцию с традиционными резонаторами и продемонстрировать улучшение ее характеристик при использовании резонаторов, предложенных в диссертации.

4) В разделе 3.1 (стр. 75) говорится о том, что зависимости для характеристического сопротивления (рис. 3.5) рассчитывались по методу возмущающего тела, вводимого в канал резонатора. Однако никаких сведений о процедуре расчета не приводится. Не поясняется, почему был использован именно этот метод.

5) В этом же разделе утверждается, что были проведены расчеты электронной проводимости и коэффициента электронного взаимодействия, однако соответствующие результаты по сути не представлены.

6) В разделе 3.2 выбор ускоряющего напряжения мотивируется тем, что электронная проводимость рабочего типа колебаний положительна (рис. 3.13). Однако для двух других типов колебаний при данных напряжениях проводимость отрицательна и имеет минимум около 2.8 кВ. Следовало бы исследовать вопрос о самовозбуждении этих типов колебаний.

7) В тексте довольно много опечаток и технических погрешностей. Например, информация об апробации результатов работы на стр. 9 и 10 дублируется. Фразу «Фрактами называют геометрические объекты, имеющие достаточно сложную структуру на произвольно малых масштабах» (стр. 40) трудно принять в качестве определения фрактала.

Тем не менее, отмеченные недостатки не снижают общей положительной оценки диссертации. Материалы диссертации представляют интерес для специалистов, занимающихся разработкой клистронов и других электровакуумных СВЧ приборов. Самостоятельность и оригинальность исследования, включая личный вклад автора, не вызывают сомнений. Результаты диссертации обладают научной новизной и практической значимостью, основные выводы и положения, выносимые на защиту, представляются обоснованными и достоверными. Содержание диссертации соответствует специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника. Автореферат достаточно полно и адекватно отражает содержание диссертации. Результаты диссертации опубликованы, включая несколько журнальных статей, получен патент на изобретение. Материалы диссертации также в достаточной мере прошли апробацию на ряде всероссийских научных конференций.

Считаю, что диссертация «Многомодовые многоканальные резонансные системы для приборов клистронного типа» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу и полностью удовлетворяет требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. и № 415 в редакции от 18.03.2023 г., в части, касающейся кандидатских диссертаций, а её автор Чернышев Максим Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника.

Официальный оппонент:

Рыскин Никита Михайлович

доктор физико-математических наук (01.04.03 и 01.04.04), профессор, главный научный сотрудник лаборатории вакуумной микро- и нанoeлектроники (СФ-1), Саратовский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
410019, г. Саратов, ул. Зеленая, 38.
e-mail: ryskin_sb@cplire.ru
Тел. 8(8452)391225

« 14 » января 2025 г.

Подпись Рыскина Н.М. заверяю:

Заместитель директора по научной работе

СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, к.ф.-м.н.



Д.В. Фатеев

с уважением знакомим

Чернышев М. А.
14.01.25