

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Манжосина Михаила Алексеевича «Улучшение режимов многомодового усиления в низковольтных многолучевых клистронах  $Ku$  и  $K$  – диапазонов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника.

Усилители или генераторы на основе низковольтных многолучевых клистронов занимают особое место среди вакуумных СВЧ приборов, применяемых в радиотехнических комплексах различного функционального назначения, из-за своих уникальных свойств, прежде всего из-за возможности достижения высокого уровня выходной мощности в коротковолновой части СВЧ диапазона.

Как показывает анализ отечественных и зарубежных публикаций, по крайней мере, за последние 30 лет исследования физических процессов, происходящих в клистронах, продолжают оставаться одним из активно развивающихся направлений современной СВЧ электроники. Это связано с требованиями разработчиков аппаратуры создания надежных приборов со сложным комплексом, зачастую противоречивых параметров и улучшенными эксплуатационными характеристиками, а также с поиском путей увеличения КПД клистронов, снижения их массы и габаритов, в том числе и при помощи применения резонансных систем на основе однозачорных и двухзачорных резонаторов. В этой связи, с точки зрения проблематики, рассматриваемой в современной СВЧ электронике, тема диссертации представляется, безусловно, **актуальной**.

Исследования Манжосина М. А., в соответствии с целью диссертационной работы, по улучшению режимов многомодового усиления в низковольтных многолучевых клистронах  $Ku$  и  $K$  – диапазонов, которые могут быть использованы, как для повышения КПД и формирования широкой полосы пропускания, так и для создания многофункциональных устройств, работающих одновременно в нескольких частотных диапазонах, позволили ему ответить на ряд вопросов, которые не нашли своего рассмотрения в предшествующих работах.

Основное внимание диссертационной работы было уделено решению **следующих задач:**

1. Разработка методики проектирования НМЛК с улучшенным комплексом выходных параметров на основе пакета прикладных программ разного уровня.
2. Определение на основе проведенных расчетов оптимальной схемы группирователя, обеспечивающей высокий электронный КПД прибора при сохранении широкой полосы усиления и массогабаритных параметров в Ku и K - диапазонах.
3. Теоретические и экспериментальные исследования, направленные на определение оптимальных режимов взаимодействия для эффективного отбора энергии и управления формой АЧХ в НМЛК, содержащего на входе и выходе систему двух связанных активных однозачерных резонаторов и гибридную фильтровую многомодовую систему, образованную металлокерамическим выводом энергии и пассивным резонатором в волноводе вывода энергии.
4. Теоретические и экспериментальные исследования режимов самовозбуждения в многорезонаторных НМЛК, работающих в Ku и K - диапазонах, и выработка рекомендаций для устранения этих режимов в широкополосных усилительных приборах.

Все основные задачи рассмотрены с общих позиций анализа физических процессов, происходящих в клистродах, что позволяет говорить об общности всех рассмотренных принципов.

Автором получены существенно **новые результаты:**

- 1) На основе результатов трехмерного численного моделирования, полученных с использованием программы «CST Studio Suit», найдено приближенное аналитическое выражение, позволяющее (с погрешностью не более 1,5%) пересчитать размеры, полученные для случая сеточных зазоров с разными длинами на эквивалентные размеры бессеточных зазоров при условии равенства коэффициентов взаимодействия для каждого сеточного зазора и усредненных по радиусу луча коэффициентов взаимодействия соответствующих бессеточных зазоров резонаторов.
- 2) С помощью теории подобия разработана уточненная (имеющая погрешность не более 3%) методика приближенного расчета основных электродинамических параметров призматических многоканальных резонаторов, позволяющая при численном моделировании ускорить процесс выбора оптимальной конструкции путем перехода от трудоемкой 3D модели исходного резонатора к более простой двумерной модели эквивалентного цилиндрического резонатора с одинаковыми волновым сопротивлением и торцевой емкостью.

- 3) Теоретически и экспериментально обоснованы преимущества использования на выходе НМЛК двухзазорных призматических резонаторов с неравными длинами зазоров, возбуждаемых во второй зоне усиления, которая характеризуется увеличенными (примерно в два раза), по сравнению с традиционно используемыми, углами пролета между центрами зазоров, что обеспечивает дополнительные возможности для увеличения КПД (примерно на 3-5%) и повышения устойчивости к тепловым нагрузкам.
- 4) Показано, что благодаря выбору оптимального угла наклона уголкового пассивного резонатора, установленного в волноводе вывода энергии, можно обеспечить эффективную передачу энергии электромагнитных волн из выходного активного резонатора в выходной СВЧ тракт с заданным коэффициентом передачи во всем рабочем диапазоне НМЛК.
- 5) Установлено, что наибольшая вероятность паразитного самовозбуждения при использовании системы двух связанных через щель призматических резонаторов, возбуждаемых в двухмодовом режиме, имеет  $\pi$  - вид колебаний.

Новизна работы подтверждается и получением патента на изобретение.

**Достоверность** приведенных результатов обеспечивается построением математических моделей на основе фундаментальных уравнений СВЧ электроники и подтверждается соответствием теоретических и экспериментальных результатов с численными данными.

Основные результаты диссертации хорошо известны специалистам. Они неоднократно докладывались на различных международных и всероссийских конференциях и опубликованы в 13 печатных работах.

#### **Замечание к автореферату:**

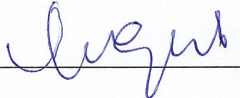
Из текста автореферата не ясно, почему нельзя было использовать при моделировании низковольтного многолучевого клистрона более строгие трехмерные модели расчета параметров процесса взаимодействия, учитывающие влияние на электронный КПД внешнего магнитного поля. Такие модели имеются, например, в известном специализированном пакете для моделирования динамики заряженных частиц в 3D электромагнитных полях «CST Studio Suite».

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы, не затрагивают научных положений и не влияют на достоверность и значимость полученных результатов. Автор диссертационной работы является представителем саратовской научной школы исследователей в области вакуумной СВЧ электроники, уже давно пользующейся заслуженным уважением среди специалистов.

Считаю, что диссертация Манжосина Михаила Алексеевича «Улучшение режимов многомодового усиления в низковольтных многолучевых клистронах Ku и K – диапазонов» является законченной квалификационной работой, полностью соответствует требованиям пунктов 9-14 "Положения по присуждению ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., в части, касающейся кандидатских диссертаций, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника.

**Морев Сергей Павлович**

Доктор физико-математических наук, эксперт научно-технической сферы ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, Акционерное общество «Научно-производственное предприятие «Исток» им. А.И. Шокина»

 /Сергей Павлович Морев/

Адрес: 141190, Московская область, г. Фрязино, ул. Вокзальная, 2а,

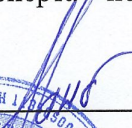
АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Телефон: +7 (916) 496-01-36

e-mail: spmor@yandex.ru

«27» декабря 2024 г.

Подпись доктора физико-математических наук, эксперта по научно-техническим вопросам Морева С.П. заверяю

Заместитель директора по научной работе, д.ф.-м.н.  / Панас А.И. /

«27» декабря 2024 г.

