

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
радиотехники и электроники им. В.А. Ко-
тельникова РАН, д.ф.-м.н., академик РАН



С.А. Никитов

«27» декабря 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН на диссертацию Манжосина Михаила Алексеевича «Улучшение режимов многомодового усиления в низковольтных многолучевых клистронах Ku и K- диапазонов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника

Мощные усилители на основе многорезонаторных пролетных клистронов широко используются в системах связи, радиолокации, радиоастрономии, ускорительной технике, и др. Интерес к многолучевым клистроном обусловлен тем, что они имеют ряд преимуществ, прежде всего, более широкую полосу усиливаемых частот и более низкие рабочие напряжения. Последний фактор, в свою очередь, позволяет уменьшить массу и габариты прибора, а также способствует повышению долговечности. В настоящее время стоит задача перехода в более высокочастотные диапазоны, вплоть до миллиметрового. При этом возникают очевидные трудности, так как с уменьшением размеров прибора падает импеданс резонатора и, соответственно, ухудшается взаимодействие пучка с высокочастотным полем. Основной путь преодоления указанной проблемы состоит в использовании многоззорных резонаторов. В связи с вышесказанным, **актуальность** темы диссертации М.А. Манжосина для современной вакуумной СВЧ электроники не вызывает сомнений.

Основное содержание диссертации изложено в четырех главах.

В **первой главе** представлен краткий обзор современного состояния исследований по тематике диссертации. Описаны устройство и принцип действия многолучевого клистрона (МЛК), приведены характеристики малогабаритных МЛК, выпускаемых российской и зарубежной промышленностью. Обоснована необходимость использования многоззорных резонаторов для расширения полосы частот и необходимость исследования процессов конкурен-

ции мод в таких резонаторах. Отдельное внимание уделяется вопросу об улучшении полосовых характеристик МЛК с помощью многозвенных резонансных систем вывода энергии.

Во **второй главе** описываются используемые в диссертации математические модели и методики расчета. Представлены инженерные формулы для расчета параметров многоканального призматического резонатора, которые хорошо согласуются с численным моделированием. Также развита методика приближенного расчета коэффициента усиления многорезонаторного клистрона с двухззорными резонаторами в линейном и нелинейном режимах, в том числе, в случае, когда распределения поля в зазорах неидентичны. Наконец, представлены результаты моделирования и оптимизации пространства взаимодействия шестирезонаторного клистрона. Предложен новый способ настройки, когда за полосу усиления выносятся не частота предвыходного резонатора, как это обычно делается, а частоты 3 и 4 резонаторов. Это позволило улучшить группировку и существенно поднять КПД — с 43,3% до 59,2%.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям низковольтных МЛК, в которых входной и выходной резонаторы являются двухззорными. В отличие от традиционного подхода, когда частота одного из видов колебаний двухззорного резонатора выводится за пределы полосы усиления, предложено располагать их примерно симметрично относительно центра полосы. Также разработана оригинальная конструкция выходного тракта, содержащая вакуумно-плотное диэлектрическое окно и находящийся вне вакуумной части прибора пассивный резонатор с подстроечной пластиной, изогнутой под определенным углом. Форма и положение подстроечных пластин оптимизировались для получения минимального КСВ в рабочей полосе частот. В итоге создан экспериментальный образец клистрона Ку-диапазона, в котором полоса усиления была расширена 2.6 раза (со 120 МГц до 310 МГц) по сравнению с исходным вариантом прибора. Помимо этого, предложенная конструкция расширяет возможности настройки АЧХ, например, позволяет реализовать двухполосный режим усиления.

В **четвертой главе** приводятся результаты исследований самовозбуждения клистрона Ку-диапазона. Экспериментально исследованы приборы с 6 и 10 резонаторами. Установлены наиболее «опасные» с точки зрения паразитного самовозбуждения значения рабочих напряжений и, соответственно, углов пролета между зазорами резонаторов. Также проведены испытания 10-резонаторного клистрона в режиме монторона — генератора автоколебаний. Получена выходная мощность свыше 600 Вт при электронном КПД 36%, контурном КПД 80%. Таким образом, данный прибор может работать и в режиме усиления, и в режиме генерации, в зависимости от ускоряющего напряжения.

Таким образом, в диссертации М.А. Манжосина получены оригинальные и обладающие **научной новизной** результаты. **Научная и практическая значимость** диссертации

обусловлена тем, что в ней представлен комплекс исследований, позволивших улучшить выходные характеристики многолучевых низковольтных клистронов Ку- и К-диапазона. Предложены новые схемы группирования, позволившие повысить КПД, новая конструкция выходной многозвенной фильтровой системы, позволившая расширить полосу усиления, сформулированы рекомендации, позволяющие избежать паразитного самовозбуждения. Результаты диссертации **внедрены** в производство на предприятии АО «НПП «Алмаз» и в учебный процесс в СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы обусловлены корректностью постановки и методов решения рассматриваемых задач, получением воспроизводимых и повторяемых результатов с использованием аттестованного измерительного оборудования и хорошо апробированных экспериментальных методик, а также освоением амплитронов с разработанным катодом в серийном производстве.

Личный вклад соискателя описан достаточно подробно и конкретно. Диссертантом получены все основные результаты, включенные в диссертацию: компьютерные расчеты, «холодные» измерения, экспериментальные исследования разработанных клистронов в режимах усиления и генерации.

Результаты диссертации в полной мере **опубликованы** в виде 13 печатных работ, включая 3 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ для публикации результатов кандидатских и докторских диссертаций, а также прошли апробацию на ряде научных конференций. Получен патент на изобретение.

Результаты диссертации представляют несомненный интерес для широкого круга специалистов, занимающихся исследованиями и разработкой приборов вакуумной СВЧ электроники и могут быть **рекомендованы к использованию** в научно-исследовательских учреждениях и производственных организациях: АО «НПП «Алмаз» (г. Саратов), АО «НПП «Исток» им. Шокина» (г. Фрязино), АО «НПП «Торий» (г. Москва), АО «НПП Салют» (г. Москва), ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (г. Москва), ФИЦ ИПФ РАН (г. Нижний Новгород) и др. Результаты также могут быть использованы в научных исследованиях и внедрены в учебный процесс в вузах, ведущих подготовку специалистов в области вакуумной СВЧ электроники. Это Нижегородский, Новосибирский, Томский, Саратовский государственные университеты, Саратовский государственный технический университет, Санкт-Петербургский политехнический университет, Томский политехнический университет, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Рязанский государственный радиотехнический университет, Российский технологический университет МИРЭА и др.

По тексту диссертации можно сделать следующие **замечания**:

1. В главе 2 приведены результаты моделирования и оптимизации многолучевого клистрона, которые иллюстрируются рисунками 43 и 44. Однако в тексте диссертации эти рисунки мало комментируются. Следовало бы более подробно описать картину группировки в одном и в другом случае. На основании этих рисунков утверждается, что формируется сгусток с минимальным разбросом скоростей. На рисунке 44 разброс скоростей действительно меньше, чем на рисунке 43, однако, вообще говоря, не очевидно, что он является минимальным для всех возможных конфигураций.

2. Не вполне понятно утверждение автора о том, что моделирование в программе HFSS занижает потери в 1,5-2 раза (стр. 50). Вероятно, имеется в виду моделирование при выборе проводимости, равной объемной проводимости меди 5.8×10^7 См/м (см. стр. 46). Однако правильнее было бы сказать, что для корректного учета потерь при моделировании следует соответствующим образом уменьшить эффективную проводимость.

3. На рисунке 32 приведена схема электронной пушки и результат расчета траекторий электронов. Непонятно, проводил ли эти расчеты сам диссертант, и если да, то с помощью какого программного пакета?

4. Неудачно сформулирована фраза « ξ – эмпирический коэффициент использования напряжения выходного резонатора, который учитывает уменьшение выходной мощности за счет скоростного разброса изменения ξ от максимального значения относительной амплитуды ВЧ напряжения на выходном резонаторе» (стр. 65-66).

5. На рисунке 42 сравниваются между собой традиционная и предложенная в диссертации схемы настройки резонаторов шестирезонаторного клистрона. Сопоставление затрудняется тем, что на рисунке 42а представлена зависимость добротности от частоты, а на рисунке 42б – зависимость коэффициента усиления от частоты.

Тем не менее, перечисленные недостатки носят в основном технический характер и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Заключение. Диссертация М.А. Манжосина представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научно-технической задачи, связанной с улучшением выходных характеристик низковольтных многолучевых усилительных клистронов Ku и K-диапазонов. Тема диссертации полностью соответствует специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника. Автореферат диссертации достаточно полно и правильно отражает ее содержание. Основные выводы и положения, выносимые на защиту, являются обоснованными и достоверными.

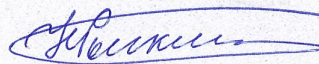
Диссертационная работа соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. и № 415 в редакции от 18.03.2023 г., в части, касающейся кандидатских диссер-

таций, а ее автор Манжосин Михаил Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании Саратовской секции ученого совета ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (протокол № 11 от 25 декабря 2024 года).

Отзыв составил:

Главный научный сотрудник,
заведующий лабораторией СФ-1,
д.ф.-м.н. (спец. 01.04.03 и 01.04.04), профессор



Рыскин Никита Михайлович

Сведения о составителе отзыва:

телефон: +7(8452)391225

e-mail: Ryskin_sb@cplire.ru


Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук

Адрес: 125009, г. Москва, ул. Моховая 11, корп.7

телефон/факс: +7 (495) 629-35-74,

e-mail: ire@cplire.ru

С отзывом ознакомлен  Манжосин М.А. /
14.01.2025г.