

ОТЗЫВ

официального оппонента Парамонова Юрия Николаевича на диссертационную работу Манжосина Михаила Алексеевича «Улучшение режимов многомодового усиления в низковольтных многолучевых клистродах Ku и K – диапазонов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.1. Вакуумная и плазменная электроника.

Актуальность темы. Диссертационная работа посвящена актуальному научно-практическому исследованию электродинамических систем и режимов усиления в импульсных низковольтных многолучевых клистродах (НМЛК) для улучшения комплекса выходных параметров приборов данного класса.

В работе исследуются актуальные процессы численного моделирования НМЛК, процессы взаимодействия электронного потока с электромагнитным полем в многомодовых резонаторах, определены задачи и пути их решения, предложена и экспериментально подтверждена новая конструкция резонаторной системы НМЛК, позволяющая существенно увеличить полосу усиления клистрода. Экспериментально обследованы возможности использования металлокерамического резонатора вывода энергии для управления формой амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) с помощью настроечных стержней и резонансных диафрагм.

Тема диссертационной работы «Улучшение режимов многомодового усиления в низковольтных многолучевых клистродах Ku и K – диапазонов» является **актуальной и имеет важное научное и практическое значение.**

Теоретическая и практическая значимость.

1) Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность эффективного взаимодействия с многолучевым электронным потоком противофазного (основная мода) и синфазного (высшая мода) видов

колебаний металлокерамического резонатора вывода энергии, что позволяет активно управлять формой АЧХ с помощью настроечных стержней, расположенных вне вакуумной части выходного волновода, без изменения массы и габаритов НМЛК.

2) Разработанные рекомендации для модернизации резонаторной системы и вывода энергии НМЛК Ku и K-диапазонов, реализация которых позволяет существенно расширить полосу усиления без увеличения массы и габаритов, с сохранением выходной мощности на уровне 300-500 Вт, что обеспечивает повышение энергоэффективности систем радиосвязи и расширяет их функциональные возможности, что является подтверждением практической значимости, проведенной работы.

3) На производственных мощностях АО "НПП "Алмаз" разработаны перспективные экспериментальные образцы НМЛК K-диапазона, которые могут быть использованы в качестве научного задела при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по освоению приборами этого класса новых частотных диапазонов. Подтверждено актом внедрения.

4) Разработанные математические модели, методики расчета и макеты резонаторных систем могут использоваться в качестве учебного пособия при прохождении производственной практики студентами кафедры «Электронные приборы и устройства» СГТУ имени Гагарина Ю.А., а также при выполнении практических работ по дисциплине «Проектирование и технология электронной компонентной базы», изучаемой в рамках направления «11.03.04 Электроника и наноэлектроника». Подтверждено актом об использовании.

Новизна научных положений. Научная новизна заключается в следующем:

1) Найдено приближенное аналитическое выражение, которое позволяет на основе результатов трехмерного численного моделирования, полученных с использованием программы «CST Studio Suit», 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) Экспериментально подтверждено, что применение на входе и выходе НМЛК четырехзвенной гибридной многомодовой фильтровой системы позволяет расширить полосу рабочих частот в 2,6 раза (со 120 МГц до 310 МГц) или же осуществлять его работу в двух близко расположенных полосах усиления с возможностью активного управления формой АЧХ без изменения массогабаритных параметров.

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) Определено соотношение для выбора отстройки резонансных частот резонаторов относительно центральной рабочей частоты при которой достигается формирование в выходном резонаторе слетающего электронного сгустка с минимальным разбросом скоростей, позволяющее повысить электронный КПД в 1,36 раза (с 43,3% до 59,2%) в НМЛК Ку-диапазона.

5) Подтверждена возможность повышения электронного КПД в шестирезонаторном 19-ти лучевом НМЛК Ку - диапазона, примерно на 15-16%, за счет использования удлиненной трубы между 4 и 5 резонатором, инверсии частот этих резонаторов, оптимального выбора параметра пространственного заряда и применения двухзазорной выходной

резонансной системы с неравными длинами зазоров, уменьшающимися по ходу электронного потока.

6) Определены частотные расстройки многомодовой выходной резонаторной системы, установленной на выходе шестирезонаторного НМЛК, требуемые для реализации широкополосного усиления (с полосой около 300 МГц) в Ku и K - диапазонах.

7) 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.

8) Для исключения режима самовозбуждения в НМЛК Ku-диапазона, имеющего на входе колебательную систему, состоящую из двух связанных через щель одноззорных резонаторов, возбуждаемых одновременно на π и 2π -виде колебаний, экспериментально установлено выражение для определения угла пролета между центрами зазоров.

Степень обоснованности и достоверности. Достоверность теоретических результатов обеспечивалась корректным использованием математического аппарата, основанного на уравнениях электровакуумной СВЧ электроники и законах электродинамики, использованием современных программ трехмерного и двумерного моделирования, а также сравнением с известными расчетными и экспериментальными данными, приведенными в отечественных и зарубежных публикациях по многолучевым клистродам. Достоверность экспериментальных результатов обеспечивалась использованием современного измерительного и испытательного оборудования, имеющегося на предприятии АО «НПП «Алмаз» г. Саратов.

Оценка содержания диссертационного исследования. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения с

выводами о работе, списка использованной литературы, собственных работ автора и приложений.

В основной части диссертации представлены результаты обзора научно-технической литературы по современному состоянию и проблемам дальнейшего развития низковольтных многолучевых клистронов. Рассмотрены особенности их конструкции, принцип действия, режимы работы, схемы настройки, основные достигнутые в настоящее время параметры и технические характеристики. Отмечено, что одним из путей дальнейшего улучшения выходных параметров НМЛК при сохранении неизменными массогабаритных характеристик является применение многозвенных фильтровых систем на входе и выходе прибора. Для создания данной системы предложено использование новых механизмов генерации и усиления электромагнитных волн электронными потоками, связанных с использованием для этих целей многомодовых режимов взаимодействия с использованием металлокерамических резонаторов.

Приведены результаты разработки усовершенствованных математических моделей и методик расчета комплекса электронных и электродинамических параметров резонаторов и выходных параметров НМЛК. Найдены простые аналитические выражения, позволяющие по известным формулам определить условия перехода от эквивалентного двойного сеточного зазора к резонатору с бессеточными зазорами разной длины. В результате проведенных расчетов показано, что для получения максимальной эффективности преобразования энергии в выходном двухмодовом двухззорном бессеточном резонаторе, целесообразно переходить к режиму взаимодействия во второй зоне усиления.

Проведено экспериментальное исследование многомодового режима усиления работы НМЛК модернизированных конструкций K_u и K - диапазонов, изготовленных в АО «НПП «Алмаз» г. Саратов. Дано подробное описание установок для измерения параметров экспериментальных образцов НМЛК, приведена структурная схема, описан принцип работы

модернизированной конструкции, приведены параметры режима, представлены результаты расчетов и экспериментального исследования режимов нелинейного взаимодействия НМЛК, работающего в Ку и К-диапазонах частотам. Установлено, что в НМЛК К-диапазона с модернизированной фильтровой системой можно также, как и в Ку-диапазоне, осуществить эффективное взаимодействие керамического резонатора с многолучевым электронным потоком. При этом можно управлять формой АЧХ и расширить полосу частот прибора в сторону высоких частот до 270 МГц при Рвых не менее 400 Вт.

Впервые показано, что применение на входе и выходе НМЛК четырехзвенной гибридной многомодовой фильтровой системы позволяет расширить полосу рабочих частот в 2,6 раза (с 120 МГц до 310 МГц) или осуществлять его работу в двух близкорасположенных полосах усиления с возможностью активного управления формой АЧХ без изменения массогабаритных параметров.

Представлены результаты экспериментального исследования работы НМЛК в режиме самовозбуждения. Исследованы конструкции НМЛК Ку-диапазона с шестью и десятью резонаторами. Проведенные эксперименты показали, что при использовании двухзачорных резонаторов с неравными длинами зазоров наиболее вероятно самовозбуждение входной резонансной системы, состоящей из связанных первого и второго резонаторов на противофазном виде колебаний, что может быть использовано для устранения паразитного самовозбуждения компактных низковольтных усилителей и полезно при разработке высокоэффективных и простых по конструкции автогенераторов с электронной перестройкой частоты и повышенным уровнем выходной мощности.

Основное содержание диссертационной работы в необходимом объеме доложено на научно-технических конференциях и опубликовано в печатных работах.

В заключении описаны основные результаты данного исследования.

Соответствие автореферата диссертации. Автореферат правильно отражает содержание диссертации и представляет собой краткое изложение основных результатов диссертационного исследования. Несоответствия между авторефератом и выводами диссертации отсутствуют. Автореферат и диссертационная работа написаны технически грамотным и ясным языком. Список научных трудов автора свидетельствует о том, что основные положения и результаты диссертации достаточно полно отражены в публикациях. Опубликовано 13 печатных работ, из них 3 статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 2 работы в единой реферативной базе данных Scopus и Web of Science, одобренных на всероссийских и международных конференциях. Получен 1 патент на изобретение. Материалы диссертации использованы при выполнении гранта в рамках Всероссийского инновационного конкурса «УМНИК-2017», победителем которого является автор.

В качестве замечаний необходимо отметить:

1) Обоснование возможности повышения в НМЛК Ku-диапазона электронного КПД с 43,3% до 59,2% является недостаточно полным, так как не проведено трехмерное моделирование взаимодействия электронного пучка с электромагнитным полем, хотя сейчас программное обеспечение позволяет достаточно точно проводить подобные расчеты. В представленных автором результатах моделирования с помощью одномерной программы “DISKLY”, параметры электронных лучей считались одинаковыми, и при этом не учитывалась неоднородность распределений высокочастотного электрического поля нелинейного группирователя НМЛК по продольной и поперечной координатам зазоров.

2) В проведенных исследованиях не нашел отражения вопрос об устойчивости характеристик двухзазорных резонаторов к тепловым нагрузкам, которые неизбежно присутствуют у данного типа клистронов.

3) Предложенные технические и конструктивные решения по увеличению полосы усиления применимы для конкретных клистронов,

рассматриваемых в работе. Не до конца раскрыто, как полученные результаты можно применять для НМЛК в целом.

Отмеченные недостатки **не снижают** общей ценности диссертационной работы, так как не затрагивают полученные в ней теоретические и экспериментальные результаты, которые представляют собой исследование, выполненное на достаточно высоком уровне.

На основании вышеизложенного можно заключить, 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. и № 415 в редакции от 18.03.2023 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.

Официальный оппонент:

Парамонов Юрий Николаевич

кандидат технических наук, заместитель генерального директора – директор по научной работе Акционерного общества «Научно-производственное предприятие «Торий», г. Москва

12.12.2024

Адрес: 117342, г. Москва, ул. Обручева, д.52, стр.2, пом.68

Телефон: +79165126259

E-mail: Paramonov.yn@tonp.ru


Подпись Парамонова Ю.Н. удостоверяю.

12.12.2024

Начальник отдела кадров

/ А.А. Кулявцева



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