

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный
технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

(СГТУ имени Гагарина Ю.А.)

ул. Политехническая, 77, г. Саратов, 410054

Телефоны: (8452) 99-88-11;

факс (8452) 99-88-10;

(8452) 99-86-03; факс (8452) 99-86-04

E-mail: sstu_office@sstu.ru

28.11.2024 № 54-398
На № _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и
инновациям федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования

«Саратовский государственный
технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

д.х.н. профессор

И.Г. Остроумов

« 28.11.2024 » 2024 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Григорьевой Наталии Вадимовны на тему «Особенности синхронизации и подавления паразитных колебаний в гиротроне при воздействии внешнего гармонического сигнала» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика».

Диссертационная работа Григорьевой Наталии Вадимовны посвящена теоретическим исследованиям фундаментальных особенностей синхронизации и подавления паразитных колебаний под воздействием внешнего сигнала в мощных гиротронах.

Актуальность избранной темы.

В последние годы приборы вакуумной микроволновой электроники все шире применяются во многих отраслях науки и техники, ускоряя научно-технический прогресс. Почти во всех технически развитых странах ведутся работы по освоению миллиметрового и субмиллиметрового диапазона электромагнитных колебаний. Диапазон миллиметровых и субмиллиметровых волн всегда представлял собой особый интерес для разработчиков. В этом диапазоне лежат частоты поглощения излучения различными веществами, поэтому эти волны интересны для спектроскопии. Современные ускорители заряженных частиц также используют излучение миллиметрового диапазона для реализации высоких темпов разгона элементарных частиц.

Среди источников электромагнитного излучения несомненное лидерство по выходной мощности в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах принадлежит гиротронам. Основное применение гиротронов это электронно-циклотронный нагрев плазмы в установках управляемого термоядерного синтеза, также они находят применение для микроволнового нагрева различных материалов и спектроскопических измерений.

Первые российские гиротроны непрерывного действия для технологического применения были разработаны и изготовлены в ИПФ РАН (г. Нижний Новгород) в 70-х годах прошлого века. Работы продолжались также в отделении вакуумной электроники НПП «Салют», НПП Торий и ЗАО НПП «Гиком». За рубежом работы по созданию гиротронов проводили компании в США (Varian, Hughes Aircraft), в Японии (Mitsubishi, Toshiba), а также в европейских странах (ABB, Thomson, Philips). На первом этапе все гиротроны предназначались для работы в диапазоне $28\div 70$ ГГц, современные мощные гиротроны способны генерировать излучение мощностью до 1 МВт с КПД 40–50% на частотах 30–170 ГГц в квазинепрерывных режимах с длительностями импульсов до тысячи секунд. Такие уникальные параметры достигаются за счет взаимодействия мощного потока электронов, движущегося по винтовым траекториям в сильном магнитном поле, с высокочастотными полями цилиндрических резонаторов на частотах, близких к циклотронной частоте электронов.

Так как в установках термоядерного синтеза используется большое число гиротронов, возникает вопрос когерентной работы приборов. Привлекает идея синхронизации мощного гиротрона сигналом гиротрона-драйвера, обладающего стабилизированной частотой. Вопрос синхронизации гиротрона имеет ряд особенностей, в связи с тем, что максимальный КПД достигается в режиме жесткого возбуждения, при котором есть ряд существенных отличий от синхронизации генератора с мягким возбуждением. Это отражено в ряде работ по исследованию гиротронов.

Однако ряд вопросов в этой области остались не исследованными. Например, вопросы влияния внешнего сигнала на выходную мощность и КПД генератора, вопросы достижения максимальной ширины полосы синхронизации. При воздействии внешнего сигнала возможно не только обеспечить режим стабилизации частоты, но и обеспечить подавление паразитных мод. Это тем более актуально, так как при продвижении вверх по диапазону, в гиротроне приходится использовать моды более высокого порядка. Также вызывает интерес вопрос стабилизации колебания рабочей моды путем воздействия внешним сигналом в ходе переходного процесса в процессе установления колебаний.

Таким образом, тема исследования Григорьевой Н.В., направленная на изучение фундаментальных особенностей синхронизации и подавления паразитных колебаний в гиротроне под воздействием внешнего сигнала, является актуальной.

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства.

Работа относится к приоритетному направлению научно-технологического развития «Высокоэффективная и ресурсосберегающая энергетика», а также к критической технологии «Технологии создания высокоэффективных систем генерации, распределения и хранения энергии (в том числе атомной)», утвержденных указом президента Российской Федерации от 18 июня 2024 Г. N 529.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

В ходе выполнения исследований соискателем получены новые важные результаты:

1. Была развита упрощенная одномодовая модель гиротрона с фиксированной структурой ВЧ поля под воздействием внешнего сигнала. Такая модель позволяет получить основные результаты аналитически, без численного решения уравнений, описывающих динамику системы. Это позволяет построить детальную картину синхронизации гиротрона внешним гармоническим сигналом в режиме жесткого возбуждения.

2. Адаптирована методика анализа автомодуляционной неустойчивости для гиротрона под воздействием внешнего сигнала. При этом на ее основе впервые проведен теоретический анализ структуры области синхронизации рабочей моды многомодового гиротрона с эквидистантным спектром мод. Также найдены условия подавления паразитных мод внешним сигналом.

3. Была продемонстрирована возможность использования внешнего сигнала для подавления паразитных мод в мощном гиротроне диапазона 250 ГГц, возбуждающихся на фронте импульса при скачке ускоряющего напряжения.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов.

1. Результаты диссертационной работы развивают и дополняют теоретические представления о гиротроне под внешним воздействием, включая процессы синхронизации и подавления паразитных мод.

2. Результаты работы могут быть использованы для улучшения ряда выходных характеристик гиротронов, таких как стабильность частоты, уровень паразитных колебаний, выходная мощность и КПД.

3. Практическая ценность работы представляет интерес для предприятий и научно-исследовательских институтов, занимающихся исследованиями и разработкой приборов вакуумной СВЧ электроники.

4. Результаты могут быть рекомендованы к использованию в следующих в организациях: АО «НПП «Торий» (г. Москва), Институт

прикладной физики РАН, НПП «Салют», ЗАО НПП «Гиком» (г. Нижний Новгород), Институт радиотехники и электроники РАН (г. Москва) и его Саратовский филиал, Институт общей физики РАН (г. Москва), НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва). Также результаты могут быть внедрены в учебный процесс в высших учебных заведениях, ведущих подготовку в области радиофизики и электроники: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, и др.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.

Достоверность полученных результатов и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются:

- использованием хорошо апробированных аналитических и численных методов;
- корректной постановкой и решением рассматриваемых задач, грамотным теоретическим анализом исследуемых математических моделей;
- согласованностью полученных теоретических результатов с результатами, известными из литературы.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 130 страниц, включая 48 рисунков. Список литературы состоит из 95 источников. Текст диссертации изложен стилистически грамотно, в соответствии с требованиями, предъявляемыми к кандидатским диссертациям.

Представленная работа не лишена некоторых недостатков.

1. В разделе 1.2 описана модель гиротрона, которая позволяет провести подробное аналитическое исследование синхронизации и выявить основные бифуркационные механизмы, приводящие к установлению синхронных режимов, а также определить значения количественных параметров. В качестве определяемых параметров указаны только КПД и ширина полосы синхронизации, и не указаны другие параметры гиротрона.

2. В главах 1, 2 рассматривается гиротрон с безразмерной длиной пространства взаимодействия $\mu=15$. Не показано, как изменяется картина резонансных кривых и языков синхронизации при других значениях этого параметра.

3. В диссертации рассматривается только модель гиротрона с гауссовой структурой поля. Хотя данная модель часто используется при теоретическом анализе режимов генерации, с практической точки зрения больший интерес представляли бы результаты исследования модели с продольной структурой поля, соответствующей какому-либо конкретному гиротрону.

Однако отмеченные недостатки не уменьшают научно-техническую значимость проведенного исследования и не снижают положительную оценку работы.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию, и включает все научные положения, а также основные выводы и результаты.

Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати.

По материалам диссертации опубликовано 25 научных работ, в том числе, 6 статей в изданиях, рекомендуемых ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации и индексируемых в международных реферативных базах данных Web of Science и Scopus, 6 работ в трудах конференций, индексируемых в Web of Science и Scopus, 13 статей в сборниках трудов всероссийских конференций. Результаты, представленные в диссертации, были использованы при выполнении грантов РФФИ №18-02-00839 и РФФИ №19-79-00307 и РФФИ №22-22-00603.

Заключение

Диссертация Григорьевой Наталии Вадимовны на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Особенности синхронизации и подавления паразитных колебаний в гиротроне при воздействии внешнего гармонического сигнала» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальных научно-технических проблем, связанных с улучшением ряда характеристик гиротронов. В работе изложены новые научно обоснованные теоретические разработки, имеющие существенное значение для развития электронной техники страны. Материалы, представленные в работе, соответствуют требованиям паспорта специальности 1.3.4 – «Радиофизика».

Диссертация соответствует требованиям п.9-11,13,14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Автор работы, Григорьева Наталия Вадимовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.4 – «Радиофизика».

Диссертация обсуждена, отзыв одобрен «12» ноября 2024 г. (протокол № 8) на заседании кафедры «Электронные приборы и устройства» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.».

Заведующий кафедрой «Электронные приборы и устройства», д.т.н., доцент



А.Ю. Мирошниченко

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Адрес: 410054, г. Саратов, улица Политехническая, д. 77

Контактные телефоны: (8452) 99-88-11

Адрес электронной почты: rectorat@sstu.ru

Веб-сайт: <https://www.sstu.ru/>

Подпись Алексея Юрьевича Мирошниченко заверяю



д.д. П. П. П.