

В диссертационный совет Д002.069.02
при ФГБУН «Федеральный
исследовательский центр
Институт прикладной физики РАН»

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Ошарина Ивана Владимировича

"Селективное возбуждение высоких циклотронных гармоник и высоких продольных мод в гироприборах терагерцового частотного диапазона",
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика

Генерация СВЧ излучения высокой и сверхвысокой мощности основана в настоящее время на использовании методов и устройств вакуумной электроники. Принципы такой генерации базируются на взаимодействии электронного потока, обладающего большим энергетическим потенциалом, с электромагнитным полем, возбуждающимся в электродинамических структурах с высокой электропрочностью. Сохраняющаяся потребность в повышении частоты и мощности выходного излучения стимулирует поиск новых механизмов взаимодействия электронного потока с электромагнитным полем, перспективных, в частности, для продвижения устройств вакуумной СВЧ электроники в область терагерцовых волн. Среди таких устройств следует выделить гирорезонансные приборы, в которых винтовой электронный поток (ВЭП) взаимодействует с модами открытого резонатора на частоте, близкой к циклотронной частоте электронов или ее гармоникам. Для современных приложений требуются гиротроны, способные обеспечить достаточно высокий уровень мощности в терагерцовом диапазоне, что может быть реализовано при работе на гармониках циклотронной частоты. Для ряда приложений требуются также компактные гиротроны с довольно малой выходной мощностью, не превышающей единицы-десятки ватт, особенностью рабочих режимов которых является предельно низкое ускоряющее напряжение.

Создание гиротронов для этих и других приложений связано с прогрессом в области разработки новых электродинамических систем и способов формирования ВЭП, а также подходов к моделированию физических процессов в этих приборах. В связи с этим диссертационная работа Ошарина И.В., в которой развиваются методы математического моделирования временной динамики возбуждения гиротронов, изучаются процессы в терагерцовых гиротронах с относительно слабым электронно-волновым взаимодействием, исследуются новые электродинамические системы для повышения КПД и селективности возбуждения высоких циклотронных гармоник, изучаются процессы в маломощных коротковолновых гиротронах с низкими энергиями электронов, представляет собой вполне актуальное исследование и соответствует специальности 01.04.03 – радиоп физика.

Научная новизна работы очевидна: автором предложены и исследованы гиротроны с секционированным резонатором и фазовыми корректорами, позволяющие повысить эффективность прибора при возбуждении далеких от отсечки продольных мод и обеспечить повышенную селективность высоких циклотронных гармоник, выявлены возможности перестройки частоты в гиротронах с низкими энергиями электронов при выводе излучения из резонатора в сторону катодной области прибора, на основе предложенных методов повышения эффективности и устойчивости электронно-волнового взаимодействия разработаны и рассчитаны экспериментальные гиротроны субтерагерцового и терагерцового диапазонов. Не вызывает сомнения также и практическая значимость работы. Поставленные в работе задачи решены автором.

Полученные результаты изложены в четырех главах. Остановлюсь ниже на наиболее важных, на мой взгляд, результатах работы.

Глава 1 посвящена исследованию оригинальных методов снижения дифракционной добротности и, как следствие, омических потерь в протяженных резонаторах гиротронов, работающих на гармониках циклотронной частоты. Автором разработаны численные коды для изучения нестационарной пространственно-временной динамики процессов в гиротронах с нерегулярными микроволновыми системами. Предложены конструкции резонаторов, которые

состоят из нескольких регулярных секций, разделенных короткими расширениями (фазовыми корректорами). На примере терагерцовых гиротронов с большими орбитами электронов показана возможность увеличения КПД и выходной мощности при использовании резонаторов с фазовыми корректорами.

В Главе 2 изучаются методы подавления паразитных мод в резонаторе гиротронов, предназначенных для работы на высоких циклотронных гармониках. Эти методы основаны на использовании резонаторов с фазовыми корректорами, а также двухпучковой электронно-оптической системы. Показано, что в резонаторах с фазовыми корректорами при их сравнении с регулярными резонаторами может быть заметно увеличен стартовый ток паразитной низкочастотной моды на основном циклотронном резонансе без заметного изменения этого тока рабочей моды на циклотронной гармонике. Работоспособность этого метода продемонстрирована на примере релятивистского гиротрона, рассчитанного на рабочую частоту 60 ГГц, а также гиротрона с частотой 1.34 ТГц. Схема двухпучкового гиротрона исследована для случая, когда один из пучков используется для излучения ВЧ мощности рабочей гармоники, а второй – для поглощения мощности паразитной низкочастотной моды. Показано, что целесообразно использовать пучки с разной энергией электронов, которые могут быть сформированы с помощью обращенной магнетронно-инжекторной пушки (МИП) с двумя катодами.

Глава 3 посвящена исследованию высокочастотных гиротронов для приложений, в которых требуется достаточно малая СВЧ мощность, не превышающая единиц-десятков ватт. Для таких гиротронов характерна работа при малых ускоряющих напряжениях, что повышает их компактность и снижает стоимость. Моделирование было выполнено для различных гиротронов, работающих на основном циклотронном резонансе: гиротрона с рабочей частотой 252 ГГц, использующего трехэлектродную МИП, и гиротрона с частотой 264 ГГц, который предназначен для динамической поляризации ядер и может быть расположен в одном криомагните с ЯМР спектрометром. Из расчетов следует, что для низковольтных гиротронов может быть обеспечен приемлемый уровень выходной мощности и КПД, а также достигнута возможность плавной перестройки

частоты при выводе СВЧ мощности из резонатора в сторону катода и при работе на высоких продольных модах в режиме ЛБВ.

В Глава 4 анализируются возможности реализации многоволновых режимов в терагерцовых гиротронах. В этих режимах может быть организована компрессия двухволнового выходного сигнала и сформирован короткий импульс с пиковой мощностью, превышающей мощность ВЭП. Моделирование, подтверждающее возможность такой компрессии, было выполнено для импульсного гиротрона мегаваттного уровня мощности с частотой 670 ГГц с выводом энергии как в сторону катода, так и в сторону коллектора при использовании дополнительной резонаторной секции. В работе также исследовано взаимодействие двух волн, возбуждающихся на одной частоте, но на разных циклотронных гармониках, которое может быть реализовано при использовании секционированных ВЭП, либо приосевого ВЭП с большими орбитами электронов. Гиротроном, для которого было выполнено моделирование, был выбран гиротрон с частотой 1 ТГц, работающий на третьей гармонике циклотронной частоты. На примере этого гиротрона показано, что реализация двухволнового режима позволяет уменьшить дифракционную добротность рабочей квазикритической моды и снизить долю омических потерь.

Характеризуя диссертационную работу в целом, следует отметить, что она оставляет хорошее впечатление. Это законченная научно-исследовательская работа в области разработки методов повышения эффективности и селективности возбуждения рабочих мод высокочастотных гиротронов с целью продвижения их в диапазон терагерцовых частот излучения. Преимуществом работы является отработка разработанных методов на большом числе гиротронов, спроектированных и изготовленных в ИПФ РАН. Основные результаты работы опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах, докладывались на представительных международных конференциях. Диссертация написана хорошим и понятным языком.

Отмечу основные замечания по работе.

1. К сожалению, при описании новых схем гиротронов остались не рассмотренными важные, на мой взгляд, вопросы практической реализации этих схем. Например:
 - будет ли влиять на работоспособность резонаторов с фазовыми корректорами изменение их геометрии вследствие нагрева стенок скин-токами при допустимой точности изготовления 10 мкм (например, стр. 49);
 - насколько возможно реализовать режим работы гиротрона с большой орбитой электрона при среднем питч-факторе 1.7 и существующем скоростном разбросе без отражения электронов от магнитной пробки (стр. 49);
 - возможна ли трансформация мод на введенных неоднородностях в резонаторе (Гл. 1 и 2);
 - может ли повлиять электромагнитное поле на качество формируемого ВЭП при выводе мощности из резонатора в сторону катода (стр. 100 и 123);
 - может ли быть равен нулю поперечный импульс электронов, эмитированных с участка катода МИП, расположенного не на оси (стр. 77);
 - возможно ли в реальных условиях "отключить" электронный импульс за 1 нс (стр. 120).
2. Для подтверждения результатов моделирования автор приводит данные, полученные в экспериментах без ссылок на литературные источники (стр. 49, 90). Возникает вопрос о роли автора в проведении этих экспериментов.
3. В части результатов моделирования приводится их сравнение с данными, полученными с помощью универсальных РС кодов. В отдельных случаях отмечается заметная разница этих данных с данными моделирования на основе усредненных уравнений (стр. 94). Можно ли утверждать, что в других случаях эта разница незначительна и что расчеты с помощью универсальных РС кодов не повлияют на основные выводы работы?

4. Следует также отметить недостатки в представлении материала диссертационной работы: частые повторы, изменяющийся размер формул и физических величин в тексте, смесь русского и английского языков на рисунках.

Отмечу, что указанные замечания не ставят под сомнение общий высокий уровень диссертационной работы.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Достоверность результатов не вызывает сомнения. Личный вклад автора также очевиден.

Исходя из вышесказанного, считаю, что диссертационная работа Ошарина И.В. соответствует требованиям и критериям п. 9 "Положения о порядке присуждения степеней" ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиоп физика.

Официальный оппонент –

Лукша Олег Игоревич

уч. звание – доцент, уч. степень – доктор физ.-мат. наук

профессор Высшей инженерно-физической школы

ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический

университет Петра Великого

Специальность 01.04.04 – физическая электроника

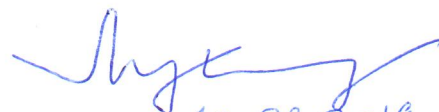
E-mail: gyrotron@mail.ru

Тел.: +7(812)552-61-27

Адрес: 195251 г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая,

д. 29, СПбПУ

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.


12.09.2019

