

Отзыв на автореферат диссертации Зуева А.С.

«ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ГИРОТРОНОВ»

По специальности 01.04.03 – «радиофизика»

Диссертация Зуева А.С. , как следует из названия, посвящена исследованию методов управления частотными характеристиками гиротронов, т.е. гиротронов, как канонических, так и неканонических, работающих как на первой, так и на более высоких гармониках гирочастоты. При этом ещё и любых диапазонов частот от гигагерцового, субтерагерцового и, наконец, терагерцового.

Так как раздел Диссертации Введение представлен в Автореферате полностью, то в разделе «Цели и задачи исследования» узнаём, что **целью** исследования являются всё-таки не все известные типы гиротронов. Она состоит в исследовании методов управления частотными характеристиками **гиротронных комплексов***: **анализе перспективности разработки ряда гироприборов с дискретной и плавной перестройкой частоты, исследование перспективных методов селекции и повышения эффективности гиротронов терагерцового диапазона.**

В процессе выполнения работы были решен ряд задач.

1. Разработка (проекты) двух вариантов многочастотных канонических субтерагерцовых гиротронов с мощностью выходного излучения до 200Вт и до 200кВт с целью выяснения специфики работы частотно – перестраиваемых приборов существенно разной мощности.

Решение этой задачи представлено в Главе 1 Диссертации. К сожалению, описанные в параграфе 1.1 Главы1 принципы реализации дискретной (ступенчатой) перестройки частоты в субтерагерцовых гиротронах **не приведены**. Но в параграфе 1.2 рассмотрен проект маломощного (~200Вт) частотно-перестраиваемого гиротрона со сверхразмерным резонатором с интервалом частот 0.20 – 0.27ТГц.

Исследована возможность широкополосной перестройки частоты генерируемого излучения за счёт возбуждения последовательности мод с близкой каустикой посредством изменения величины магнитного поля и возможность плавной перестройки путём возбуждения мод с большим числом продольных вариаций.

Также проанализирована возможность увеличения диапазона перестройки при помощи контролируемого изменения температуры резонатора.

В параграфе 1.3 рассматривается возможность создания частотно-перестраиваемого гиротрона высокой мощности, работающего на 27 поперечных модах в диапазоне частот 97-261 ГГц. Для большинства рабочих мощность выходного излучения превысила 200кВт. Проведен комбинированный анализ и совместная оптимизация электронно-оптической и электродинамической системы. Выполнен анализ эффективности одноступенчатой рекуперации в такой системе. Предложена оптимизированная система для работы гиротрона во всём приведенном диапазоне частот. Средняя тепловая нагрузка на стенки коллектора в результате уменьшилась почти в 2 раза и составила 0.3 кВт/см².

В параграфе 1.4 представлены результаты численного моделирования и экспериментального исследования широкополосной дискретной перестройки частоты в **прототипе** мощного субтерагерцового гиротрона, предназначенного для нагрева плазмы и её диагностики в **перспективных** установках термоядерного синтеза.

*Гиротроны спроектированы для существующего в ИПФ РАН гиротронного комплекса на основе криомагнита JASTEC – 10Т100, имеющего максимальное магнитное поле 10 Тл.

Именно в **перспективных** установках, так как для реализации дискретной перестройки десятка мод, необходимо иметь **магнит с напряжённостью до 10Тл гиротронного комплекса.**

2. Задача исследования перспективности введения селективного отражения в электродинамическую систему гиротрона, работающего на высокой гармонике гирочастоты, решена во 2ой Главе в параграфе 2.1.
3. Задача исследования специфики влияния омических потерь на процессы взаимодействия и эффективность работы гиротрона в разных частотных диапазонах и исследование возможности понижения доли омических потерь, решена в Главе 2 в параграфе 2.3.
4. Задача исследования перспективности введения специальной локальной неоднородности, расположенной на выходном конце резонатора терагерцового гиротрона для снижения чувствительности режима генерации к небольшим возмущениям заданной конфигурации резонатора решена в Главе 2 в параграфе 2.2.

В параграфе 2.1 представлены результаты экспериментов по возбуждению в непрерывном гиротроне моды на третьей циклотронной гармонике с помощью селективной обратной связи. Селективное отражение выходного сигнала осуществлялось путём изменения толщины выходного окна. В ходе экспериментов была продемонстрирована устойчивая генерация при работе на третьей циклотронной гармонике на частоте 40.5ТГц с мощностью выходного излучения 3 кВт при КПД 8%. Кстати из экспериментальных зависимостей, приведенных на Рис.3 можно, наконец, определить рабочее напряжение этого режима.. Оно составляет ≈ 19.7 кВ.

В параграфе 2.2 анализируется возможность уменьшения влияния возмущения регулярного участка резонатора на выходные характеристики гиротрона при помощи введения небольшой по размеру неоднородности в конце регулярного участка резонатора. Анализ выполнен на примере работающего в ИИФ РАН терагерцового гиротрона с частотой генерации 0.527 ТГц.

В параграфе 2.3 исследуется специфика работы гиротронов в терагерцовом диапазоне при работе на модах, синхронных с высокими циклотронными гармониками в условиях нарастания омических потерь. Последние приводят к целому ряду нежелательных явлений. Рассмотрена возможность их устранения за счёт выбора материала, технологии изготовления резонатора и температурного режима. Исследована перспективность снижения доли омических потерь за счёт охлаждения резонатора вплоть до криогенных температур. Представлены основные результаты расчётов зависимости КПД от температуры для гиротрона с частотой 0.5ТГц. Данный метод позволяет не только значительно повысить КПД прибора, но и способствует устойчивости одномодового режима генерации.

5. Задаче разработки перспективных схем многоствольных гиротронов для перестройки и повышения рабочей частоты посвящена Глава 3.

В Главе 3 предложена новая схема гирорезонансного прибора – многоствольного гиротрона. (МСГ). Показан пример схемы МСГ. Утверждается, что простейшая схема многоствольного гиротрона включает преимущества как канонического гиротрона (адиабатическая система формирования винтовых электронных пучков), так и гиротрона с приосевым пучком (эффективная селекция мод, с высокими гармониками гирочастоты) и привлекательна для приложений для приложений с требованием умеренного уровня мощности и позволяет значительно расширить частотные возможности гиротронов и снизить стоимость системы по сравнению с набором гиратронов с аналогичными выходными характеристиками.

В параграфе 3.1 описан принцип работы перспективного варианта многоствольного гиротрона, а в 3.2 – особенности простого варианта электронно-оптической системы МСГ. **К сожалению, на указано, сколько стволы у этого МСГ.**

В параграфе 3.3. рассмотрены перспективные варианты построения многоствольного гиротрона. В пункте 3.3.1 рассмотрен вариант МСГ с пятью резонаторами и диапазоном плавной перестройки частоты 13.1 ГГц около частоты 140 ГГц. В пункте 3.3.2 показана возможность работы МСГ с «изолированными» электронными пучками. В пункте 3.3.3 показана возможность работы на третьей циклотронной гармонике с суммарной мощностью излучения более 1кВт на частоте 448 ГГц.

В параграфе 3.4 рассмотрен проект МСГ, работающего в терагерцовом диапазоне на высоких гармониках гирочастоты с возможностью одновременной генерации на частотах 263, 359 и 526 ГГц. Дополнительно рассматривается возможность генерации излучения на частоте 594 ГГц.

В пунктах 3.4.2-3.4.4 приведены результаты исследования электронно-волнового взаимодействия в МСГ. Кроме схемы вывода излучения в сторону коллектора, рассмотрена также альтернативная схема вывода излучения в сторону электронной пушки. В пунктах 3,4,5 рассматривается перспективность рекуперации и предложены варианты системы вывода излучения в МСГ. Показано, что использование рекуперации в данном приборе позволяет повысить КПД в 5 раз, значительно снизить уровень рентгеновского излучения, упростить системы питания и охлаждения резонатора.

Несмотря на самое благоприятное впечатление от работы, придётся отметить недостатки.

1. На стр.7 не известно для чего предназначен использоваться маломощный низковольтный частотно-перестраиваемый гиротрон диапазона 0.2-0.27 ТГц.
2. На стр.11 в первом параграфе Главы 1 не описаны принципы реализации дискретной перестройки.
3. В Главе не везде упоминается количество стволов в многоствольных гиротронах.

Несмотря на указанные недостатки Автореферата, работа производит самое благоприятное впечатление, а соискатель, безусловно, заслуживает искомой степени кандидата физико-математических наук.

К.т.н., с.н.с., Лауреат Гос. Премии СССР,

Вед.н.с. ФИРЭ им.В.А. Котельникова РАН

Мясин Евгений Анатольевич.

Подпись заверяю:

Директор ФИРЭ им.В.А. Котельникова РАН

Д.ф.-м.н.

Смирнов Владимир Михайлович

141190, Российская федерация, Московская обл., г. Фрязино, площадь им. Введенского д.1. Тел. 8-903-525-5753. E-mail: eam168@ms.ire.rssi.ru