УДК 621.385.69

Фокин А.П., Глявин М.Ю., Денисов Г.Г., Цветков А.И., Богдашов А.А., Морозкин М.В.,Новожилова Ю.В., Мовшевич Б.З., Лучинин А.Г.

Институт прикладной физики РАН

Управление мощностью и частотой излучения гиротронов, предназначенных для микроволновой обработки материалов, спектроскопии и диагностики различных сред

Представлены результаты численных и экспериментальных исследований возможностей стабилизации и модуляции мощности и частоты излучения гиротронов за счет использования внешнего высокодобротного резонатора и (или) источника анодного напряжения или дополнительной катушки подмагничивания с малыми характерными временами.

Ключевые слова: Гиротрон, модуляция мощности, стабилизация частоты.

Гиротроны в настоящее время являются самыми мощными и эффективными источниками СВЧ-излучения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Область их применения включает в себя как фундаментальные, так и прикладные задачи (нагрев плазмы в установках УТС, спектроскопия и диагностика различных сред, плазмохимия, микроволновая обработка материалов) [1]. Для технологических процессов актуальна возможность быстрого изменения выходной мощности в соответствии с реализуемым сценарием прогрева образца, для спектроскопических приложений крайне важна стабильность частоты генерации. В настоящий момент для управления параметрами излучения, как правило, используется вариации напряжения мощного высоковольтного источника, подключенного к катоду лампы, однако такой подход сталкивается со сложностями быстрого изменения параметров мощного источника с большим током. В данной работе рассматриваются альтернативные способы управления режимом генерации за счет анодного (имеющего практически нулевой ток) источника, или катушки подмагничивания малой индуктивности. Возможности стабилизации частоты излучения демонстрируются в схеме с внешним высокодобротным резонатором.

Воздействие волны, отраженной от удаленной нерезонансной нагрузки, (например, от выходного окна или других элементов электродинамического тракта) на гиротрон ранее рассматривалось в большом числе работ, как теоретических, так и экспериментальных (см, например [2,3]). Традиционно большое внимание уделялось влиянию отражений на процесс конкуренции мод, в частности, исследовался сценарий установления режима генерации, определялись КПД и области технических параметров, соответствующие той или иной моде, особенно в мощных гиротронах, применяемых в установках управляемого термоядерного синтеза. Однако возможности стабилизации частоты излучения при отражении части сигнала от внешней резонансной или нерезонансной нагрузок исследуются относительно недавно [4]. Вместе с тем воздействие отраженного сигнала эквивалентно введению дополнительной запаздывающей обратной связи, которая может при оптимальном выборе фазы запаздывания повысить когерентность излучения и сузить спектральную линию генератора. В данной работе приводятся результаты эксперимента по

стабилизации частоты технологического гиротрона с рабочей частотой 28 ГГц на второй гармонике гирочастоты при помощи внешнего высокодобротного резонатора.

Управление частотой и мощностью излучения может также может быть реализовано при помощи управления магнитным полем или напряжением на электродах магнетронно-инжекторной пушки. На рисунке 1 представлены зависимости выходной мощности (сигнала с детектора) от тока катушки подмагничивания, расположенной в области резонатора. В этом случае, за счет изменения резонансной частоты электронов возможна модуляция мощности излучения с частотой около 10 кГц. Повышение частоты модуляции ограничено экранировкой магнитного поля массивным металлическим корпусом лампы (скин-эффект) [5].

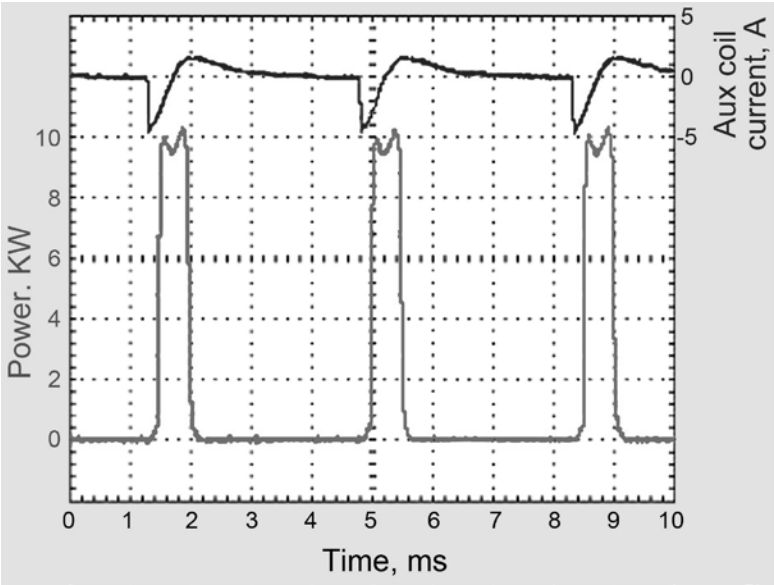

Рис. 1. Модуляция выходной мощности излучения гиротрона при помощи дополнительной катушки подмагничивания в области резонатора

При использовании анодного источника с малым характерным временем изменения напряжения показана возможность 100% модуляции мощности с частотой около 50 кГц и практически линейная зависимость мощности от напряжения (рис.2).

Рис. 2. Модуляция и управление мощностью выходного излучения гиротрона при помощи анодного источника

Использование описанных методов позволит создать относительно простые и недорогие системы стабилизации частоты гиротронов, расширить возможности модуляции частоты и мощности излучения, что представляется востребованным для ряда приложений, особенно спектроскопических.

Библиографический список

1. G.S. Nusinovich, M.K.A. Thumm, M.I. Petelin The Gyrotron at 50: Historical Overview // Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, April 2014, Volume 35, Issue 4, pp 325-381
2. Glyavin M.Yu., Zapevalov V.E. Reflections Influence on the Gyrotron Oscillation Regimes // Int. J. IRMM Waves, 1998, 19, 11, 1499-1511
3. O. Dumbrajs ; T. Idehara ; S. Watanabe ; A. Kimura et al. Reflections in gyrotrons with axial output // IEEE Transactions on Plasma Science Volume: 32 Issue: 3, pp 899 - 902
4. М.Ю. Глявин, Г.Г. Денисов, М.Л. Кулыгин, Ю.В. Новожилова Стабилизация частоты гиротрона отражением от нерезонансной и резонансной нагрузки // Письма в ЖТФ, 2015, том 41, вып. 13, стр. 25-32
5. M. Glyavin, A. Luchinin and M. Morozkin Ka-band 10 kW CW gyrotron with the wide-band fast frequency sweep // Rev. Sci. Instrum. 83, 074706 (2012)