

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ПЕРЕСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ И СИНХРОНИЗАЦИИ МАГНЕТРОНОВ

Чурюмов Г. И., Грицунов А. В., Старчевский Ю. Л., Фролова Т. И.,
Басрани К. М., Экезли А. И., Перевертайло Р. А.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166, Украина
тел. 8 057 702-10-57, e-mail: g.churyumov@ieee.org

Аннотация – Полученные результаты математического моделирования и экспериментальная их проверка позволяют лучше понять физику процесса синхронизации колебаний в магнетронах и будут полезны разработчикам при создании когерентных магнетронных генераторов с улучшенными частотными характеристиками.

I. Введение

Магнетронные генераторы относятся к наиболее эффективным приборам СВЧ и обладают рядом уникальных параметров, среди которых основными являются высокие значения КПД, высокие значения отношения генерируемой мощности к весу прибора, компактность и простота конструкции и, как следствие, относительно низкая себестоимость [1]. Однако их широкое применение, например, в области радарных технологий ограничено недостаточной стабильностью частоты генерации, высоким уровнем собственных шумов, паразитных и побочных колебаний, а также низкой долговечностью [2]. В этой связи исследования, направленные на улучшение данных характеристик магнетронов постоянно находятся в центре внимания разработчиков радиоэлектронных систем. Интерес вызывает не только улучшение их энергетических характеристик (повышение мощности генерации, снижение уровней побочных регулярных и нерегулярных (шумов) колебаний), но и исследование частотных и фазовых характеристик магнетронов [3], включая специальные режимы их работы, связанные с перестройкой частоты генерации и синхронизацией генерируемых колебаний [4,5].

В настоящем докладе рассматриваются пути улучшения частотных характеристик магнетронов. Исследования связаны с анализом и выбором конструктивных решений и включают применение математических моделей магнетронов различного уровня строгости: от аналитических до численных (двух- (2-D) и трехмерных (3-D)), а также экспериментальную проверку полученных теоретических результатов.

II. Основная часть

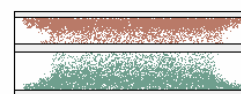
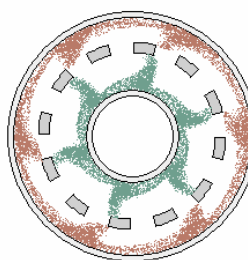
Анализ работы магнетронов показывает, что в отличие от известных подходов реализации специальных режимов работы магнетронов (см., напр., [6]), интерес представляет подход, основанный на использовании нетрадиционной конструкции магнетрона (двухкаскадный магнетрон) [7]. Для исследования частотных характеристик двухкаскадного магнетрона использовалась конструкция прибора с геометрическими и электрическими параметрами, которые представлены в Табл. 1. Моделирование проводилось с помощью программы SICM 3D 3.01, в которой реализована 3 - D математическая модель двухкаскадного магнетрона. Результаты моделирования представлены на рис. 1. Анализ фазовой группировки замкнутого электронного потока показал законо-

мерности изменения фазового расположения электронных сгустков (спиц пространственного заряда) относительно максимумов тормозящих периодов ВЧ поля при изменении электрического режима работы (изменении анодного напряжения) каждого каскада. При этом изменением режима работы внешнего каскада удается управлять амплитудой и частотой генерируемого магнетроном колебания [8].

Табл. 1. Параметры двухкаскадного магнетрона

Table 1. Two-stage magnetron parameters

Параметры	Внутренний каскад	Внешний каскад
Количество резонаторов	12	12
Частота, МГц	3025	3025
Радиус катода, мм	5,65	14,15
Радиус анода, мм	10	11,2
Высота катода, мм	24	24
Магнитная индукция, Тл	0,25	0,25
Анодное напряжение, кВ	25	25



Radiuses :

Radius of the cathode 1, mm = 5.650
Radius of the anode 1, mm = 10.000
Radius of the anode 2, mm = 11.200
Radius of the cathode 2, mm = 14.150

Рис. 1. Азимутальное и аксиальное распределения электронного потока.

Fig. 1. Azimuthal and axial distributions of an electron beam

Для реализации режимов перестройки частоты генерации и/или синхронизации магнетронов может быть использован дополнительный (реактивный) вывод энергии в магнетроне. Такая идея была реализована в классической конструкции низковольтного магнетрона М 857. Основные геометрические и электрические параметры данного магнетрона приведены в Табл. 2.

Табл. 2. Параметры магнетрона М 857

Table 2. M 857 magnetron parameters

Параметры	Значение параметра
Количество резонаторов	10
Частота, МГц	9480
Радиус катода, мм	0.925
Радиус анода, мм	1.25
Высота катода, мм	4
Магнитная индукция, Тл	0,2
Анодное напряжение, кВ	0.58

На рис. 2 показана схематично конструкция магнетрона М 857. Как видно, в данной конструкции магнетрона применяются два вывода энергии 3 (активный) и 4 (реактивный), которые имеют разную степень связи с резонаторами анодного блока 2. Основной (активный) вывод энергии 3 в отличие от реактивного вывода 4 имеет более сильную связь с резонатором и служит для вывода мощности в нагрузку. Реактивный вывод применяется для перестройки частоты генерации магнетрона, а также может быть использован для решения задачи подвозбуждения (или синхронизации) с помощью внешнего СВЧ источника. Для 2-D математического моделирования электронно-волнового механизма в магнетроне такой конструкции применяется пакет программ TULIPgm. С учетом особенностей распределения ВЧ поля π -вида в пространстве взаимодействия разнорезонаторной системы (типа «щель - отверстие») проведено моделирование влияния уровня внешнего сигнала на частотные характеристики прибора.

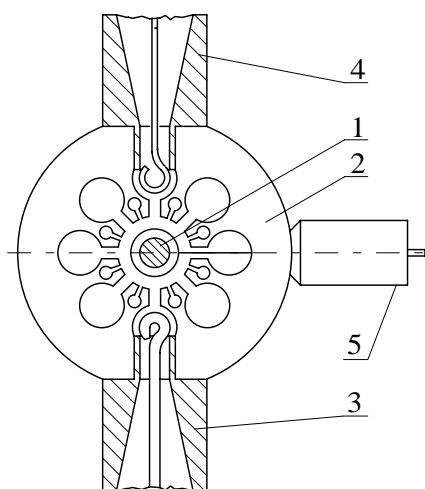


Рис. 2. Схематичное изображение магнетрона М 857:
1 – катод; 2 – анод; 3 – активный вывод;
4 – реактивный вывод; 5 – катодная ножка.

Fig. 2. Schematic drawing of magnetron M 857:
1 – cathode; 2 – anode; 3 – active output;
4 – reactive output; 5 – cathode stem

III. Заключение

Таким образом полученные теоретические результаты указывают на принципиальную возможность реализации режима синхронизации в новой конструкции магнетрона (двухкаскадном магнетроне). Экспериментально и теоретически изучены режимы перестройки частоты и синхронизации 3-см низковольтного магнетрона.

IV. Список литературы

- [1] СВЧ – энергетика. Т. 1. Генерирование, передача, выпрямление. Под ред. Э. Окресса. – М.: Изд-во Мир. 1970. – 464 с.
- [2] Справочник по радиолокации. Т.1. Под ред. Сколника. – М.: Изд-во Мир. 1973.
- [3] Welch H. W., Jr. Prediction of Traveling Wave Magnetron Frequency Characteristics: Frequency Pushing and Voltage Tuning. Proceedings of the IRE, vol. 41, 1953, pp. 1631 – 1653.

- [4] Самсонов Д. Е. Основы расчета и конструирования магнетронов. – М.: Изд-во Сов. радио. 1974. – 324 с.
- [5] Tahir I., Dexter A., Carter R. Noise Performance of Frequency and Phase Locked CW Magnetrons Operated as Current Controlled Oscillators. IEEE Trans. On Electron Devices, vol. ED-52, May. 2005, pp. 1345-1356.
- [6] Минаев М. И. Радиопередающие устройства сверхвысоких частот. – Минск: Высшая школа, 1978. – 221 с.
- [7] Churyumov G. I., Frolova T. I., Gritsunov A. V. The Two-Stage Magnetron – A New Multifunctional Microwave Generator. Fifth IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC'2004), April 27 – 29, Monterey, California, 2004.
- [8] Чурюмов Г. И., Фролова Т. И., Грицунов А. В., Исаева Е. Б. Анализ частотных характеристик двухкаскадного магнетронного генератора. Вісник Сумського державного університету. Серія. Фізика, математика, механіка. 2004, № 10 (69), с. с. 249 – 255.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FREQUENCY TUNING AND LOCK MODES OF MAGNETRONS

Churyumov G. I., Gritsunov A. V., Frolova T. I.,
Starchevskiy Yu., L., Basrawi K. M.,
Ekezli A. I., Perevertaylo R. A.
Kharkov National University of Radio Electronics
Ph.: +38 057 7021057, Fax:+38 057 7021013,
e-mail: g.churyumov@ieee.org

Abstract – The obtained outcomes of mathematical modeling and experimental investigation allow better to understand physics of the processes of tuning frequency and phase lock in magnetrons and will be useful for the designers to create of the coherent magnetrons with the improved frequency characteristics.

I. Introduction

The modern researches of magnetrons are directed toward perfecting their constructions and eliminating available disadvantages, including both improving of power parameters and an investigation of frequency (or phase) characteristics [1-7].

In this paper the paths of frequency characteristics improving of the magnetrons are considered. The investigations are connected with analysis and choice of new designs and include application both analytic and numerical (2-D and 3-D) models of the magnetrons as well as experimental check of the theoretical results.

II. Main Part

An investigation is carried out for two designs of the magnetrons: a two-stage magnetron [8] and a low-voltage X-band magnetron. The main electric and design parameters of the magnetrons are presented in Tabl. 1 and 2. For simulation the 3-D code SICM 3D 3.01 (for a two-stage magnetron) and the 2-D code TULIPgm (for a low-voltage magnetron (Fig. 2)) are applied. The analysis of phase bunching of an re-entrant electron beam in the interaction space of the two-stage magnetron permits to understand the features of driving by amplitude and frequency of output signal (Fig. 1) [9]. The influence of amplitude of external signal to the frequency characteristics of the low-voltage magnetron are obtained with consideration for features of distribution of electromagnetic field of π -mode in the interaction space of resonance delay line (cavity designs: hole-and-slot).

III. Conclusion

Comparison of the theoretical and experimental results allows to draw a conclusion that considered designs of the magnetrons can be used for creation frequency tuning magnetrons and locked magnetrons.