

**ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНЕТРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ  
СИСТЕМ РАДИОЛОКАЦИИ И СВЯЗИ**

Чурюмов Г.И., Одаренко Е.Н., Фролова Т.И., Старчевский Ю.Л., Васянович А.В.  
Иванцов В. П., Экезли А.И., Сивоконь К.В.

The results of an experimental investigation of the factors cause of frequency instability in the magnetrons are described. Introduce a phenomenological description of frequency fluctuation concept in magnetrons. The investigation results of the anode block temperature effect on the frequency and a power supply disturbances on the magnetron stability.

**Введение.** Улучшение выходных параметров существующих генераторов СВЧ, на основе магнетронов, продолжает находиться в центре внимания разработчиков РЭС, например [1-5]. Магнетронные генераторы представляются наиболее перспективными источниками СВЧ излучения, благодаря высокому КПД, оптимальному отношению выходной мощности к весу прибора, низкой себестоимости. На сегодняшний день вопросы, связанные с быстрой перестройкой частоты и повышением стабильности частоты и фазы генерируемых колебаний магнетронных генераторов, являются наиболее актуальными.

Рассмотрение методов создания магнетронных генераторов с повышенной стабильностью и перестройкой частоты – цель и задачи данного исследования.

**Анализ причин и методов повышения стабильности частоты магнетронных генераторов.** Среди факторов, приводящих к изменению частоты в магнетронах и вызывающих ее флюктуации, а также оказывающих влияние на их частотные характеристики, следует выделить:

- тепловые эффекты, которые, с одной стороны, вызывают изменение геометрических размеров анодных блоков магнетронов (особенно в коротковолновой части сантиметрового и миллиметрового диапазонах), а с другой – влияют на эмиссионные процессы, протекающие на катоде и вызывающих колебания суммарного тока, эмитируемого с поверхности катода;
- флюктуации и нестабильности питающих напряжений;
- наличие внешних цепей, обеспечивающих регулировку рабочего режима магнетронов (цепи питания и СВЧ цепи) и т.д.

Исследование частотных свойств магнетронов начнем с изучения влияния температурного режима. На рис.1 представлены временные зависимости температуры анодного блока непрерывного магнетрона, которые измерены температурным датчиком на внешней поверхности анодного блока. Температурные зависимости снимались при условиях применения различных методов охлаждения магнетрона: конвективного (кривая 1) и принудительного воздушного (кривые 2 и 3). На рис. 2 показаны зависимости изменения частоты данного магнетрона от температуры анодного блока для разных значений анодного тока магнетрона. Как видно, применение принудительного воздушного охлаждения (кривая 2) по сравнению с конвективным охлаждением (кривая 1) позволяет регулировать процессом установления температуры анодного блока. При этом увеличение воздухообмена в 2 раза (кривая 3) приводит к уменьшению температурного коэффициента частоты и сокращению (в 1,2 ... 1,4 раза) времени установления температурного режима работы магнетрона. Рост температуры анодного блока, как видно из рис. 2, вызывает изменение генерируемой частоты. При этом как в режиме малых амплитуд ВЧ поля при  $I_a = 50$  mA (низковольтный участок вольтамперной характеристики (ВАХ)), так и в режиме больших амплитуд при  $I_a = 150$  mA (высоковольтный участок ВАХ) с ростом температуры частота магнетрона уменьшается, т.е. наблюдается линейное расширение внутреннего объема анодного блока. В целом следует отметить, что в силу значительной инерционности тепловых процессов их влияние на процесс установления частоты магнетронов можно рассматривать как аperiодический процесс.

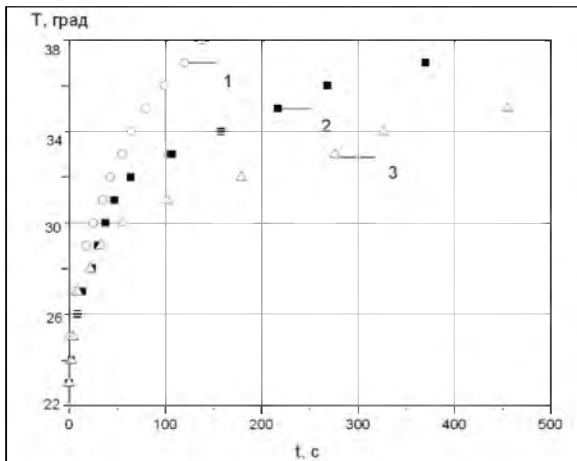


Рис. 1 – Экспериментальные зависимости температуры анодного блока непрерывного магнетрона от времени работы

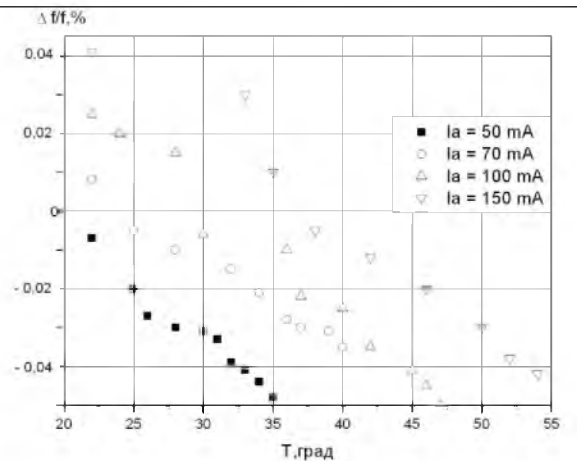


Рис. 2 – Экспериментальные зависимости изменения частоты непрерывного магнетрона от температуры анодного блока в режиме принудительного охлаждения

Блок-схема экспериментальной установки для измерения флуктуаций частоты магнетронов приведена на рис.3.

На рис. 4 показаны экспериментальные зависимости выходного спектра непрерывного магнетрона в режиме непрерывной генерации (а) и изменения частоты магнетрона во времени (б) для фиксированной точки на ВАХ при условии, что  $I_a = 100$  мА.

Как видно, выходной спектр магнетрона представляет собой сложный модулированный по амплитуде и частоте выходной сигнал с девиацией частоты для выбранного случая равной 340 кГц. Указанное значение девиации частоты получено при условии, что пульсации анодного напряжения не превышают  $\pm 0,1$  % и соответствуют стабильности частоты выходного сигнала порядка  $10^{-5}$ . Выключение тока накала после запуска магнетрона (разрыв цепи накала с помощью ключа К на рис. 3) приводит к незначительному уменьшению девиации частоты до  $280 \div 300$  кГц. С ростом пульсаций напряжения источника питания (нестабильность более  $\pm 1$  %) девиации частоты увеличивается и превышает 8 МГц.

С другой стороны, экспериментальные исследования показали, что флуктуации частоты магнетрона имеют периодический характер с частотой 50 Гц (рис. 4, б). Это свидетельствует о возможном влиянии на работу магнетрона помехи от источника питания и указывает на необходимость применения дополнительных мер по защите (фильтрации) цепей питания магнетрона от помех.



Рис. 1 – Блок-схема измерительной установки

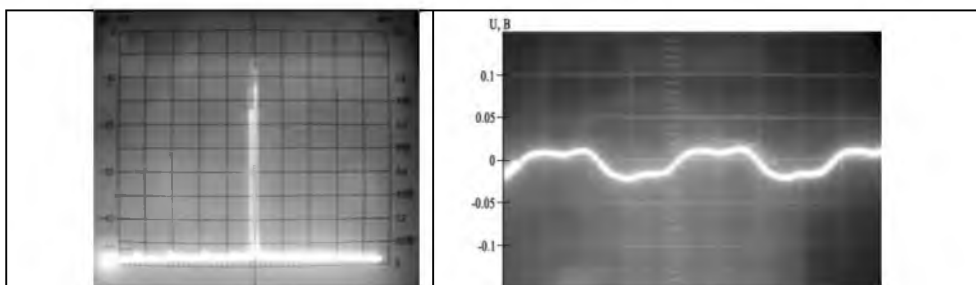


Рис. 4 – Выходной спектр непрерывного магнетрона (расстояние между метками 1 МГц) (а) и зависимость изменения частоты магнетрона от времени (б)

На рис. 5 показана зависимость относительного изменения частоты генерации магнетрона от амплитуды помехи при условии, что  $I_a = 100$  мА.

Как видно, с уменьшением амплитуды помехи нестабильность частоты генерации магнетрона уменьшается и достигает минимального значения  $2 \cdot 10^{-5}$ .

**Выводы.** Проведенные экспериментальные исследования показали возможность уменьшения нестабильности частоты выходного сигнала непрерывного низковольтного магнетрона. Повышение температуры анодного блока от  $20$  до  $60^\circ$  С приводит к снижению частоты генерации магнетрона на  $0,1$  %. Применение стабилизированного источника питания с нестабильностью не превышающей  $\pm 0,1$  % и учетом дополнительной фильтрации питающих напряжений позволяет получить стабильность колебаний, равной  $2 \cdot 10^{-5}$ . Применение цепи обратной связи позволит на порядок повысить стабильность частоты и фазы генерируемых колебаний.

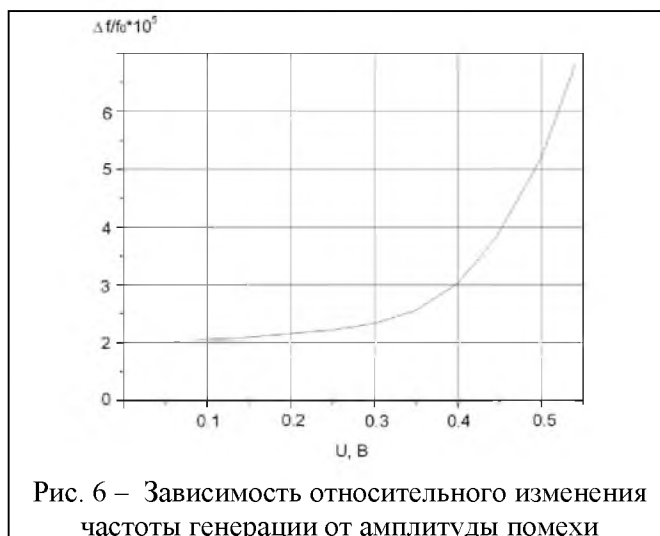


Рис. 6 – Зависимость относительного изменения частоты генерации от амплитуды помехи

#### Список литературы

1. Naoki Shinohara, Shigeo Kawasaki. Recent Wireless Power Transmission Technologies in Japan for Space Solar Power Station/Satellite // [Radio and Wireless Symposium, 2009. RWS '09. IEEE](#) // . – January, 2009. – P.13-15.
2. P. Pengvanich, Y. Y. Lau, E. Cruz, R. M. Gilgenbach, B. Hoff, and J. W. Luginsland. Analysis of peer-to-peer locking of magnetrons // *Physics of plasmas* // . – 15 , 2008. – P. 103104-1-103104-4.
3. Nicolas Faure. Modelisation electromagnetique en presence de charges d'espace. Application a l'etude de tubes electroniques de type magnetron // *Universite de Limesgos* // These. – Le 30 aout 2006. – P. 247
4. Tahir I., Dexter A., Carter R. Noise performance of frequency and phase locked CW magnetrons operated as current controlled oscillators. *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-52, November, 2005.
5. Пат. 42293 Украина, МПК Н 01 J 25/00 Магнетронный генератор / Чурюмов Г. И., Фролова Т. И., Экезли А. И., Сивоконь К. В., заявитель и патентообладатель Харьковский национальный университет радиоэлектроники. – и 200901408, заявл. 19.02.09, опубл. 25.06.09, Бюл. №12.